

501.40201X00

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE



Applicant(s): TADOKORO, et al.  
Serial No.: Not yet assigned  
Filed: June 29, 2001  
Title: FABRICATION METHOD OF SEMICONDUCTOR  
INTEGRATED CIRCUIT DEVICE  
Group: Not yet assigned

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of  
Patents and Trademarks  
Washington, D.C. 20231

June 29, 2001

Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on Japanese Patent Application No.(s) 2000-200986, filed July 3, 2000.

A certified copy of said Japanese Application is attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP

William I. Solomon

Registration No. 28,565

WIS/alb  
Attachment  
(703)312-6600

310000745

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

J1036 U.S. PTO  
09/893577



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 7月 3日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-200986

出 願 人

Applicant (s):

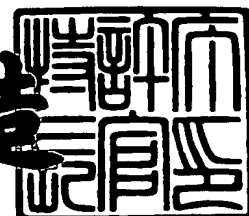
株式会社日立製作所

株式会社日立超エル・エス・アイ・システムズ

2001年 3月30日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3024762

【書類名】 特許願

【整理番号】 H00007451

【提出日】 平成12年 7月 3日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/3065

【発明者】

【住所又は居所】 東京都小平市上水本町五丁目 2 0 番 1 号 株式会社日立  
製作所 半導体グループ内

【氏名】 田所 昌洋

【発明者】

【住所又は居所】 東京都小平市上水本町 5 丁目 2 2 番 1 号 株式会社日立  
超エル・エス・アイ・システムズ内

【氏名】 塩屋 雅弘

【発明者】

【住所又は居所】 東京都小平市上水本町五丁目 2 0 番 1 号 株式会社日立  
製作所 半導体グループ内

【氏名】 児島 雅之

【発明者】

【住所又は居所】 東京都小平市上水本町五丁目 2 0 番 1 号 株式会社日立  
製作所 半導体グループ内

【氏名】 池田 武信

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【特許出願人】

【識別番号】 000233169

【氏名又は名称】 株式会社日立超エル・エス・アイ・システムズ

【代理人】

【識別番号】 100080001

【弁理士】

【氏名又は名称】 筒井 大和

【電話番号】 03-3366-0787

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006909

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体集積回路装置の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 (a) 半導体基板上に窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、

(b) 前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程

(c) 前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、

前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間が 50～700msであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力が 0.7～7Paであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3】 請求項 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量が 200～1000cm<sup>3</sup>/minであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 4】 請求項 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量が 700cm<sup>3</sup>/min以上であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 5】 請求項 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力が 1.3～4Paであり、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量が 700cm<sup>3</sup>/min以上であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 6】 請求項 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記希釈ガスの流量が、前記フロロカーボン系のガスおよび酸素の流量よりも多いことを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 7】 請求項 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、

前記プラズマエッチング処理中の半導体基板の温度が、 $60 \sim 140^{\circ}\text{C}$ であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 8】 請求項 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、  
前記プラズマエッチング処理中の半導体基板の温度が、 $100 \sim 130^{\circ}\text{C}$ であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 9】 請求項 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、  
前記プラズマエッチング処理中のプラズマ密度が、 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 10】 請求項 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、  
前記プラズマエッチング処理中のプラズマ密度が、 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 11】 請求項 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、  
前記フロロカーボン系のガスが  $\text{C}_5\text{F}_8$  であり、前記希釈ガスがアルゴンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 12】 請求項 11 記載の半導体集積回路装置の製造方法において  
前記アルゴンガスの流量が  $200 \sim 1000 \text{ cm}^3 / \text{min}$ であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 13】 請求項 11 記載の半導体集積回路装置の製造方法において  
前記アルゴンガスの流量が  $400 \sim 800 \text{ cm}^3 / \text{min}$ であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 14】 請求項 11 記載の半導体集積回路装置の製造方法において  
前記酸素と  $\text{C}_5\text{F}_8$  とのガス流量比（酸素 /  $\text{C}_5\text{F}_8$ ）が、 $0.8 \sim 1.5$ であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 15】 請求項 11 記載の半導体集積回路装置の製造方法において  
前記酸素と  $\text{C}_5\text{F}_8$  とのガス流量比（酸素 /  $\text{C}_5\text{F}_8$ ）が、 $1 \sim 1.2$ であること

を特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 6】 請求項 1 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において

前記  $C_5F_8$  の分圧が、 $0.02 \sim 0.2 \text{ Pa}$  であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 7】 請求項 1 1 記載の半導体集積回路装置の製造方法において

前記  $C_5F_8$  の分圧が、 $0.04 \sim 0.1 \text{ Pa}$  であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 8】 (a) 半導体基板上に窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、

(b) 前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程

(c) 前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、

前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間が  $50 \sim 350 \text{ ms}$  であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 1 9】 (a) 半導体基板上に窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、

(b) 前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程

(c) 前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、

前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間が  $100 \sim 200 \text{ ms}$  であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 0】 (a) 半導体基板上に窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、

(b) 前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程

(c) 前記酸化シリコン系の絶縁膜に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、

前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力が0.7～7 Paであり、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量が700 cm<sup>3</sup>/min以上であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項21】 (a) 半導体基板上に窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、

(b) 前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程

(c) 前記酸化シリコン系の絶縁膜に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、

前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力が1.3～4 Paであり、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量が700 cm<sup>3</sup>/min以上であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項22】 (a) 半導体基板上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、

(b) 前記酸化シリコン系の絶縁膜上にハードマスクを形成する工程、

(c) 前記ハードマスクをエッチングマスクとして、前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、

前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間が50～700 msであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項23】 請求項22記載の半導体集積回路装置の製造方法において



前記プラズマエッチング処理中の処理室内の圧力が $0.7 \sim 7 \text{ Pa}$ であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 4】 請求項 2 2 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記処理室内に流入されるエッチングガスの総流量が $200 \sim 1000 \text{ cm}^3 / \text{min}$ 以上であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 5】 請求項 2 2 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記処理室内に流入されるエッチングガスの総流量が $700 \text{ cm}^3 / \text{min}$ 以上であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 6】 請求項 2 2 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記プラズマエッチング処理中の処理室内の圧力が $1.3 \sim 4 \text{ Pa}$ であり、前記処理室内に流入されるエッチングガスの総流量が $700 \text{ cm}^3 / \text{min}$ 以上であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 7】 請求項 2 2 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記希釈ガスの流量が、前記フロロカーボン系のガスおよび酸素の流量よりも多いことを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 8】 請求項 2 2 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記プラズマエッチング処理中のプラズマ密度が、 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 2 9】 請求項 2 2 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記プラズマエッチング処理中のプラズマ密度が、 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 0】 請求項 2 2 記載の半導体集積回路装置の製造方法において、前記フロロカーボン系のガスが $\text{C}_5\text{F}_8$ であり、前記希釈ガスがアルゴンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 1】 請求項 3 0 記載の半導体集積回路装置の製造方法において

前記アルゴンガスの流量が  $200 \sim 1000 \text{ cm}^3/\text{min}$  であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 2】 請求項 3 0 記載の半導体集積回路装置の製造方法において

前記アルゴンガスの流量が  $400 \sim 800 \text{ cm}^3/\text{min}$  であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 3】 請求項 3 0 記載の半導体集積回路装置の製造方法において

前記酸素と  $\text{C}_5\text{F}_8$  とのガス流量比（酸素／ $\text{C}_5\text{F}_8$ ）が、 $0.8 \sim 1.5$  であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 4】 請求項 3 0 記載の半導体集積回路装置の製造方法において

前記酸素と  $\text{C}_5\text{F}_8$  とのガス流量比（酸素／ $\text{C}_5\text{F}_8$ ）が、 $1 \sim 1.2$  であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 5】 請求項 3 0 記載の半導体集積回路装置の製造方法において

前記  $\text{C}_5\text{F}_8$  の分圧が、 $0.02 \sim 0.2 \text{ Pa}$  であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 6】 請求項 3 0 記載の半導体集積回路装置の製造方法において

前記  $\text{C}_5\text{F}_8$  の分圧が、 $0.04 \sim 0.1 \text{ Pa}$  であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3 7】 （a）半導体基板上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、

（b）前記酸化シリコン系の絶縁膜上にハードマスクを形成する工程、

（c）前記ハードマスクをエッチングマスクとして、前記半導体基板に対して、フッロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いて

プラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、

前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間が50～350msであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項38】 (a) 半導体基板上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、

(b) 前記酸化シリコン系の絶縁膜上にハードマスクを形成する工程、

(c) 前記ハードマスクをエッチングマスクとして、前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、

前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間が100～200msであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項39】 (a) 半導体基板上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、

(b) 前記酸化シリコン系の絶縁膜上にハードマスクを形成する工程、

(c) 前記ハードマスクをエッチングマスクとして、前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、

前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力が0.7～7Paであり、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量が700cm<sup>3</sup>/min以上であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項40】 (a) 半導体基板上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、

(b) 前記酸化シリコン系の絶縁膜上にハードマスクを形成する工程、

(c) 前記ハードマスクをエッチングマスクとして、前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工す

る工程を有し、

前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力が $1.3 \sim 4 \text{ Pa}$ であり、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量が $700 \text{ cm}^3/\text{min}$ 以上であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体集積回路装置の製造技術に関し、例えば半導体集積回路装置の製造工程におけるセルフアラインコンタクト (Self Aligned Contact: 以下、SACという) プロセスまたは高アスペクト比コンタクト (High Aspect Ratio Contact: 以下、HARCという) プロセスに適用して特に有効な技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

本発明者らが検討したSACプロセスにおいては、エッチングガスとして、例えば $\text{C}_4\text{F}_8$ を主として、その他に $\text{C}_5\text{F}_8$ 、 $\text{CH}_2\text{F}_2$ 、 $\text{CHF}_3$ または $\text{CF}_4$ 等のようなフルオロカーボン系のガスと、酸素との混合ガスが用いられている。酸化シリコン ( $\text{SiO}_2$ ) 膜は、フルオロカーボン系のガスが解離して生成されるフルオロカーボン系化合物との反応によりエッチングが進行するが、下地となる窒化シリコン ( $\text{SiN}$ ) 膜は、フルオロカーボン系化合物との反応性が酸化シリコン膜に比べて低いため、窒化シリコン膜上にはポリマー層が相対的に厚く堆積する。このポリマー層の膜厚やC/F比 (炭素原子数とフッ素原子数との比) をガス種等により最適化することにより、酸化シリコン膜と窒化シリコン膜との高選択性を実現している。

【0003】

また、設計ルールの微細化に伴う高アスペクト比化に対しては、孔等の開口性を向上させる観点から処理室内の圧力を下げ、処理室内に流入されるガスの総流量を増大させる方向への条件の変更を行っている。それに伴う窒化シリコン膜に対する選択比の低下については、 $\text{CH}_2\text{F}_2$ 等のような堆積性の強いガスを添加す

ることにより対応している。

【0004】

本発明者らが検討したHARCプロセスにおいても、基本的に上記SACプロセスと同種のエッチングガスが用いられ、開口性および選択性を得るために上記SACプロセスと同様な対応がとられている。

【0005】

なお、この種の技術については、例えば特開平11-317392号公報に記載があり、窒化シリコン系材料層に対して選択性を大きく確保しながら酸化シリコン系材料層をエッチングする際に、エッチングガスとして、パーフルオロシクロオレフィン ( $C_5F_8$ を含む) を用いることにより、選択比を高め、選択比の面内ばらつきを低くする技術が開示されている。

【0006】

また、例えば特開平8-45917号公報には、エッチング処理に際して、低圧力の状態で、チャンバ内の反応ガスの滞在時間を100ms以下にして、深い溝や穴を高速エッチングする技術が開示されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

ところが、上記SACプロセスやHARCプロセス技術においては、孔や溝のアスペクト比（深さ／幅）が益々進み、開口性と選択性との両立ができないという問題があることを本発明者らは見出した。

【0008】

例えばSACプロセスにおいては、酸化シリコン膜の開口性を高めるようにエッチングを行うと孔や溝の開口は可能となるが、酸化シリコン膜と窒化シリコン膜との選択比を確保できず、孔や溝内に埋め込む導体膜と、下層の導体膜とのショートマージンが短くなり、それら導体膜がショートしてしまう。逆に、その選択比を高めるようにエッチングを行うと、孔や溝自体を十分に開口できない。また、例えばHARCプロセスにおいては、酸化シリコン膜の開口性を高めるようにエッチングを行うと孔や溝の開口は可能となるが、酸化シリコン膜とハードマスク等との選択比を確保できず、孔の平面加工寸法や断面垂直形状が劣化する。

逆に、その選択比を高めるようにエッチングを行えば、孔や溝自体を十分に開口できない。

【0009】

本発明の目的は、プラズマエッチングプロセスにおいて、酸化シリコン膜の開口性および窒化膜に対する選択性を向上させることのできる技術を提供することにある。

【0010】

また、本発明の他の目的は、プラズマエッチングプロセスを用いる半導体集積回路装置の製造歩留まりを向上させることのできる技術を提供することにある。

【0011】

また、本発明の他の目的は、プラズマエッチングプロセスを用いる半導体集積回路装置の量産性を向上させることのできる技術を提供することにある。

【0012】

また、本発明の他の目的は、プラズマエッチングプロセスを用いる半導体集積回路装置の信頼性を向上させることのできる技術を提供することにある。

【0013】

また、本発明の他の目的は、プラズマエッチングプロセスを用いる半導体集積回路装置の性能を向上させることのできる技術を提供することにある。

【0014】

本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

【0015】

【課題を解決するための手段】

本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、次のとおりである。

【0016】

本発明は、半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記半導体基板上の酸化シリコン系の絶縁膜を加工する際に、低圧化およびエッ

チングガスの大流量化によりエッチングガスのエッチング処理室内滞在時間を、窒化シリコン系の絶縁膜に対する選択性が向上する領域に設定した状態でエッチング処理を施すものである。

【 0 0 1 7 】

また、本発明は、半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記半導体基板上の酸化シリコン系の絶縁膜を加工する際に、低圧化およびエッチングガスの大流量化によりエッチングガスのエッチング処理室内滞在時間を、ハードマスクに対する選択性が向上する領域に設定した状態でエッチング処理を施すものである。

【 0 0 1 8 】

また、本願において開示される発明のうち、他のの概要を簡単に説明すれば、次のとおりである。

【 0 0 1 9 】

1. 本願の発明は、半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記半導体基板上の酸化シリコン系の絶縁膜を加工する際に、前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間を 5 0 ～ 7 0 0 m s とするものである。

【 0 0 2 0 】

2. 本発明は、半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記半導体基板上の酸化シリコン系の絶縁膜を加工する際に、前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間を 5 0 ～ 3 5 0 m s とするものである。

【 0 0 2 1 】

3. 本発明は、半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記半導体基板上の酸化シリコン系の絶縁膜を加工する際に、前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間を 1 0 0 ～ 2 0 0 m s とするものである。

## 【 0 0 2 2 】

4. 本発明は、(a) 半導体基板上に窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(b) 前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(c) 前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間を50～700msとするものである。

## 【 0 0 2 3 】

5. 本発明は、(a) 半導体基板上に窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(b) 前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(c) 前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間を50～350msとするものである。

## 【 0 0 2 4 】

6. 本発明は、(a) 半導体基板上に窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(b) 前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(c) 前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間を100～200msとするものである。

## 【 0 0 2 5 】

7. 本発明は、(a) 半導体基板上に電極配線を形成する工程、(b) 前記半導体基板上に前記電極配線の表面を覆うように窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(c) 前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(d) 前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜に、前記電極配線に対して自己整合的に孔を形成する工程を有し、前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間を5



0 ～ 7 0 0 m s とするものである。

【 0 0 2 6 】

8. 本発明は、(a) 半導体基板上に電極配線を形成する工程、(b) 前記半導体基板上に前記電極配線の表面を覆うように窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(c) 前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(d) 前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜に、前記電極配線に対して自己整合的に孔を形成する工程を有し、前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間を 5 0 ～ 3 5 0 m s とするものである。

【 0 0 2 7 】

9. 本発明は、(a) 半導体基板上に電極配線を形成する工程、(b) 前記半導体基板上に前記電極配線の表面を覆うように窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(c) 前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(d) 前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜に、前記電極配線に対して自己整合的に孔を形成する工程を有し、前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間を 1 0 0 ～ 2 0 0 m s とするものである。

【 0 0 2 8 】

1 0. 本願発明は、上記項 1 ～ 9 のいずれかにおいて、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力を 0. 7 ～ 7 P a とするものである。

【 0 0 2 9 】

1 1. 本願発明は、上記項 1 ～ 9 のいずれかにおいて、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力を 1. 3 ～ 4 P a とするものである。

【 0 0 3 0 】

1 2. 本願発明は、上記項 1 ～ 1 1 のいずれかにおいて、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量が  $2 0 0 \sim 1 0 0 0 \text{ cm}^3 / \text{min}$  とするものである。

【 0 0 3 1 】

1 3 . 本願発明は、上記項 1 ～ 1 1 のいずれかにおいて、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量が  $400 \sim 800 \text{ cm}^3/\text{min}$  とするものである。

【 0 0 3 2 】

1 4 . 本発明は、上記項 1 ～ 1 1 のいずれかにおいて、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量が  $700 \text{ cm}^3/\text{min}$  以上とするものである。

【 0 0 3 3 】

1 5 . 本発明は、上記項 7 ～ 9 のいずれかにおいて、前記プラズマエッチング処理後、前記孔から露出する前記窒化シリコン系の絶縁膜を除去し、前記半導体基板を露出させる工程、前記半導体基板の露出する孔内に導体膜を埋め込む工程を有するものである。

【 0 0 3 4 】

1 6 . 本願発明は、半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記半導体基板上の酸化シリコン系の絶縁膜を加工する際に、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力を  $0.7 \sim 7 \text{ Pa}$  とするものである。

【 0 0 3 5 】

1 7 . 本願発明は、半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記半導体基板上の酸化シリコン系の絶縁膜を加工する際に、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力を  $1.3 \sim 4 \text{ Pa}$  とするものである。

【 0 0 3 6 】

1 8 . 本願発明は、上記項 1 6 または 1 7 において、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を  $200 \sim 1000 \text{ cm}^3/\text{min}$  とするものである。

【0037】

19. 本願発明は、上記項16または17において、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を $400 \sim 800 \text{ cm}^3/\text{min}$ とするものである。

【0038】

20. 本発明は、上記項16または17において、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を $700 \text{ cm}^3/\text{min}$ 以上とするものである。

【0039】

21. 本願発明は、半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記半導体基板上の酸化シリコン系の絶縁膜を加工する際に、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を $200 \sim 1000 \text{ cm}^3/\text{min}$ とするものである。

【0040】

22. 本願発明は、半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記半導体基板上の酸化シリコン系の絶縁膜を加工する際に、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を $400 \sim 800 \text{ cm}^3/\text{min}$ とするものである。

【0041】

23. 本発明は、半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記半導体基板上の酸化シリコン系の絶縁膜を加工する際に、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を $700 \text{ cm}^3/\text{min}$ 以上とするものである。

【0042】

24. 本発明は、(a) 半導体基板上に窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(b) 前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する

工程、(c)前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力を0.7～7Paとするものである。

## 【0043】

25. 本発明は、(a)半導体基板上に窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(b)前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(c)前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力を1.3～4Paとするものである。

## 【0044】

26. 本願発明は、上記項24または25において、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を $200 \sim 1000 \text{ cm}^3/\text{min}$ とするものである。

## 【0045】

27. 本願発明は、上記項24または25において、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を $400 \sim 800 \text{ cm}^3/\text{min}$ とするものである。

## 【0046】

28. 本発明は、上記項24または25において、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を $700 \text{ cm}^3/\text{min}$ 以上とするものである。

## 【0047】

29. 本発明は、(a)半導体基板上に電極配線を形成する工程、(b)前記半導体基板上に前記電極配線の表面を覆うように窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(c)前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(d)前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すこ

とにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜に、前記電極配線に対して自己整合的に孔を形成する工程を有し、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力を0.7～7 Paとするものである。

## 【0048】

30. 本発明は、(a)半導体基板上に電極配線を形成する工程、(b)前記半導体基板上に前記電極配線の表面を覆うように窒化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(c)前記窒化シリコン系の絶縁膜上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(d)前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜に、前記電極配線に対して自己整合的に孔を形成する工程を有し、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力を1.3～4 Paとするものである。

## 【0049】

31. 本願発明は、上記項29または30において、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を $200 \sim 1000 \text{ cm}^3/\text{min}$ とするものである。

## 【0050】

32. 本願発明は、上記項29または30において、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を $400 \sim 800 \text{ cm}^3/\text{min}$ とするものである。

## 【0051】

33. 本発明は、上記項29または30において、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を $700 \text{ cm}^3/\text{min}$ 以上とするものである。

## 【0052】

34. 本発明は、上記項29～30のいずれかにおいて、前記プラズマエッチング処理後、前記孔から露出する前記窒化シリコン系の絶縁膜を除去し、前記半導体基板を露出させる工程、前記半導体基板の露出する孔内に導体膜を埋め込む工程を有するものである。

【 0 0 5 3 】

35. 本発明は、上記項1～34のいずれかにおいて、前記プラズマエッチング処理中の半導体基板の温度を、50～180℃とするものである。

【 0 0 5 4 】

36. 本発明は、上記項1～34のいずれかにおいて、前記プラズマエッチング処理中の半導体基板の温度を、60～140℃とするものである。

【 0 0 5 5 】

37. 本発明は、上記項1～34のいずれかにおいて、前記プラズマエッチング処理中の半導体基板の温度を、100～130℃とするものである。

【 0 0 5 6 】

38. 本願の発明は、(a)半導体基板上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(b)前記酸化シリコン系の絶縁膜上にハードマスクを形成する工程、(c)前記ハードマスクをエッチングマスクとして、前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間が50～700msとするものである。

【 0 0 5 7 】

39. 本発明は、(a)半導体基板上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(b)前記酸化シリコン系の絶縁膜上にハードマスクを形成する工程、(c)前記ハードマスクをエッチングマスクとして、前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間が50～350msとするものである。

【 0 0 5 8 】

40. 本発明は、(a)半導体基板上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(b)前記酸化シリコン系の絶縁膜上にハードマスクを形成する工程、(c)前記ハードマスクをエッチングマスクとして、前記半導体基板に対して、フロ

ロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、前記エッチングガスのエッチング処理室内滞在時間が100～200msとするものである。

【0059】

41. 本発明は、上記項38～40のいずれかにおいて、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力を0.7～7Paとするものである。

【0060】

42. 本発明は、上記項38～40のいずれかにおいて、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力を1.3～4Paとするものである。

【0061】

43. 本願発明は、上記項38～42のいずれかにおいて、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を200～1000cm<sup>3</sup>/minとするものである。

【0062】

44. 本願発明は、上記項38～42のいずれかにおいて、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を400～800cm<sup>3</sup>/minとするものである。

【0063】

45. 本発明は、上記項38～42のいずれかにおいて、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を700cm<sup>3</sup>/min以上とするものである。

【0064】

46. 本発明は、上記項39～45のいずれかにおいて、前記プラズマエッチング処理によって前記酸化シリコン系の絶縁膜に孔を形成し、その孔内に情報蓄積容量素子を形成する工程を有するものである。

【0065】

47. 本発明は、(a)半導体基板上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、(b)前記酸化シリコン系の絶縁膜上にハードマスクを形成する工程、(c

）前記ハードマスクをエッチングマスクとして、前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜を加工する工程を有し、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力を 0.7 ～ 7 P a とするものである。

【 0 0 6 6 】

4 8. 本発明は、（a）半導体基板上に酸化シリコン系の絶縁膜を堆積する工程、（b）前記酸化シリコン系の絶縁膜上にハードマスクを形成する工程、（c）前記ハードマスクをエッチングマスクとして、前記半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記プラズマエッチング処理中のエッチング処理室内の圧力を 1.3 ～ 4 P a とするものである。

【 0 0 6 7 】

4 9. 本願発明は、上記項 4 7 または 4 8 のいずれかにおいて、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を  $200 \sim 1000 \text{ cm}^3/\text{min}$  とするものである。

【 0 0 6 8 】

5 0. 本願発明は、上記項 4 7 または 4 8 のいずれかにおいて、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を  $400 \sim 800 \text{ cm}^3/\text{min}$  とするものである。

【 0 0 6 9 】

5 1. 本発明は、上記項 4 7 または 4 8 のいずれかにおいて、前記エッチング処理室内に流入されるエッチングガスの総流量を  $700 \text{ cm}^3/\text{min}$  以上とするものである。

【 0 0 7 0 】

5 2. 本発明は、上記項 3 9 ～ 5 1 のいずれかにおいて、前記ハードマスクをポリシリコンとするものである。

【 0 0 7 1 】

5 3. 本発明は、上記項 4 7 ～ 5 2 のいずれかにおいて、前記プラズマエッチ



ング処理によって前記酸化シリコン系の絶縁膜に孔を形成し、その孔内に情報蓄積容量素子を形成する工程を有するものである。

【 0 0 7 2 】

54. 本発明は、上記項1～53において、前記希釈ガスの流量が、前記フロロカーボン系のガスおよび酸素の流量よりも多いものである。

【 0 0 7 3 】

55. 本発明は、上記項1～53において、前記プラズマエッチング処理中のプラズマ密度が、 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ とするものである。

【 0 0 7 4 】

56. 本発明は、上記項1～53において、前記プラズマエッチング処理中のプラズマ密度が、 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ とするものである。

【 0 0 7 5 】

57. 本発明は、上記項1～53において、前記プラズマエッチング処理中のプラズマ密度が、 $5 \times 10^{10} \sim 5 \times 10^{11} / \text{cm}^3$ とするものである。

【 0 0 7 6 】

58. 本発明は、上記項1～57において、前記フロロカーボン系のガスが $\text{C}_5\text{F}_8$ であり、前記希釈ガスがアルゴンとするものである。

【 0 0 7 7 】

59. 本発明は、上記項58において、前記アルゴンガスの流量を $200 \sim 1000 \text{ cm}^3 / \text{min}$ とするものである。

【 0 0 7 8 】

60. 本発明は、上記項58において、前記アルゴンガスの流量を $400 \sim 800 \text{ cm}^3 / \text{min}$ とするものである。

【 0 0 7 9 】

61. 本発明は、上記項58～60において、前記酸素と $\text{C}_5\text{F}_8$ とのガス流量比（酸素/ $\text{C}_5\text{F}_8$ ）を、 $0.5 \sim 2.0$ とするものである。

【 0 0 8 0 】

62. 本発明は、上記項58～60において、前記酸素と $\text{C}_5\text{F}_8$ とのガス流量比（酸素/ $\text{C}_5\text{F}_8$ ）を、 $0.8 \sim 1.5$ とするものである。

【 0 0 8 1 】

6 3 . 本発明は、上記項 5 8 ～ 6 0 において、前記酸素と  $C_5F_8$  とのガス流量比（酸素 /  $C_5F_8$ ）を、1 ～ 1 . 2 とするものである。

【 0 0 8 2 】

6 4 . 本発明は、上記項 5 8 ～ 6 0 において、前記  $C_5F_8$  の分圧を 0 . 0 2 ～ 0 . 2 P a とするものある。

【 0 0 8 3 】

6 5 . 本発明は、上記項 5 8 ～ 6 0 において、前記  $C_5F_8$  の分圧を 0 . 0 4 ～ 0 . 1 P a とするものある。

【 0 0 8 4 】

6 6 . 本発明は、上記項 5 8 ～ 6 0 において、前記  $C_5F_8$  の分圧を 0 . 0 4 ～ 0 . 0 8 P a とするものある。

【 0 0 8 5 】

【発明の実施の形態】

以下、本願において使用する用語の一般的意味について説明する。

【 0 0 8 6 】

1 . デバイス面とは、半導体ウエハの主面であって、その面にフォトリソグラフィにより、複数のチップ領域に対応する集積回路パターンが形成される面をいう。すなわち、「裏面」に対して、その反対側の主面をいう。

【 0 0 8 7 】

2 . 半導体集積回路ウエハまたは半導体ウエハとは、半導体集積回路の製造に用いるシリコン単結晶基板（一般にほぼ円形）、サファイア基板、ガラス基板その他の絶縁、反絶縁または半導体基板などならびにそれらの複合的基板をいう。また、「半導体集積回路装置」（あるいは「電子装置」、「電子回路装置」など）というときは、単結晶シリコン基板上に作られるものだけでなく、特にそうでない旨が明示された場合を除き、上記した各種基板、あるいはさらに S O I (Silicon On Insulator) 基板、T F T (Thin Film Transistor) 液晶製造用基板、S T N (Super Twisted Nematic) 液晶製造用基板などといった他の基板上に作られるものを含むものとする。

【 0 0 8 8 】

3. シリコンナイトライド、窒化ケイ素または窒化シリコンというときは、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ のみではなく、シリコンの窒化物で類似組成の絶縁膜を含むものとする。

【 0 0 8 9 】

4. キャップ膜は、埋め込み配線の情報の電氣的接続部以外に形成される絶縁性および拡散バリア性の高い絶縁膜で、一般に層間絶縁膜の主要部とは別の材料、例えば窒化シリコン膜で形成される。

【 0 0 9 0 】

5. 「滞在時間 ( $\tau$ ) 」とは、 $\tau = V / S = P \cdot V / Q$ で表すことができる時間である。上式のVはプラズマ容積またはチャンバ（エッチング処理室）容積、Sは真空ポンプの実効排気速度（チャンバとポンプと間の配管のコンダクタンスを考慮した値）、Pは処理圧力、Qはガス流量である。したがって、Vをプラズマ容積とするか、チャンバ容積とするかによって、それぞれプラズマ内滞在時間とチャンバ内（エッチング処理室内）滞在時間の捉え方ができる。プラズマ内滞在時間は、エッチング処理に際して流入ガス分子がプラズマ中に留まっていられる時間である。また、チャンバ内滞在時間は、エッチング処理に際して、流入ガス分子がチャンバ内に留まっていられる時間である。

【 0 0 9 1 】

上式において、処理圧力、プラズマ容積（またはチャンバ容積）およびガス流量を代入することにより滞在時間を導出している。

【 0 0 9 2 】

上記処理圧力Pは、例えばエッチング装置のチャンバ内の側壁に設置されたバラトン真空計の値を用いている。また、ガス流量Qは、例えばマスフローコントローラの値を用いている。

【 0 0 9 3 】

プラズマ容積は、図47に示すように、プラズマを円柱と考えて導出している。この場合、プラズマ容積 $V = \pi \cdot r^2 \cdot (\text{電極間隔})$ 、と表すことができる。また、図47の電極間隔 (gap) は、平行平板型エッチング装置の上部電極と下部電極との間隔のことである。

## 【0094】

また、チャンバ容積 $V$ は、バルブを全閉した状態においてチャンバ内にガスを流入させた場合の、時間に対する圧力の増加の割合を測定することで求めた。ガス流量の単位の $\text{cm}^3/\text{min}$ は、標準状態（ $0^\circ\text{C}$ 、 $1\text{atm}$ ）における1分当りに流れるガスの体積である。標準状態（ $0^\circ\text{C}$ 、 $1\text{atm}$ ）において1モルは $22.414\text{ (L)} (=22414\text{ (cm}^3\text{)})$ なので、 $1\text{ (cm}^3/\text{min}) = 1/22414\text{ (mol/min)} = 4.46 \times 10^{-5}\text{ (mol/min)}$ となる。

## 【0095】

これを用いて、 $\Delta t$ の間にエッチング装置のチャンバ内に流入したガスのモル数が求められ、それに伴う圧力の変化 $\Delta p$ を用いれば（図48参照）、

気体の状態方程式  $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ を用いて、 $\Delta p \cdot V = (Q \cdot \Delta t) \cdot R \cdot T$ 、（ $V$ ：チャンバ容積、 $R$ ：気体定数、 $T$ ：温度、 $Q$ ：ガス流量）からチャンバ容積 $V$ を求めることが可能である。その結果、本実施の形態で用いたエッチング装置においては、チャンバ容積 $V = 74.98\text{ (L)}$ であった。

## 【0096】

6. エッチングガスは、反応ガスと、希釈ガスと、その他のガスとを有している。反応ガスは、主としてエッチングと堆積との両方の反応に寄与するガスであり、さらに、主反応ガスと、添加反応ガスとに分類できる。SACプロセスやHARCプロセスに用いられる主反応ガスとしては、フロロカーボン系のガスがあり、添加反応ガスとしては酸素（ $\text{O}_2$ ）を含むガスがある。そのフロロカーボン系のガスは、飽和型と不飽和型に分類できる。

## 【0097】

7. 電極配線とは、電極または配線の総称であって、電気信号の経路を形成する構成部材である。

## 【0098】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一の機能を有する部材には同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。また、以下の実施の形態では、特に必要な

とき以外は同一または同様な部分の説明を原則として繰り返さない。

【0099】

また、以下の実施の形態では、便宜上その必要があるときは、複数のセクションまたは実施の形態に分割して説明するが、特に明示した場合を除き、それらは互いに無関係なものではなく、一方は他方の一部または全部の変形例、詳細、補足説明などの関係にある。

【0100】

また、以下の実施の形態において、要素の数など（個数、数値、量、範囲などを含む）に言及する場合、特に明示したときおよび原理的に明らかに特定の数に限定されるときを除き、その特定の数に限定されるものではなく、特定の数以上でも以下でもよい。

【0101】

さらに、以下の実施の形態において、その構成要素（要素ステップなどを含む）は、特に明示した場合および原理的に明らかに必須であると考えられる場合を除き、必ずしも必須のものではないことは言うまでもない。

【0102】

同様に、以下の実施の形態において、構成要素などの形状、位置関係などに言及するときは、特に明示した場合および原理的に明らかにそうでないと考えられる場合を除き、実質的にその形状などに近似または類似するものなどを含むものとする。このことは、上記数値および範囲についても同様である。

【0103】

また、以下の実施の形態では、電界効果トランジスタを代表するMIS・FET (Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor) を単にMISという。

【0104】

まず、本実施の形態の説明に先立って、本発明に到る経緯について説明する。

【0105】

DRAM (Dynamic Random Access Memory) プロセスの微細化のキーテクノロジーである超高アスペクト酸化膜ドライエッチング技術においては、設計ルール

の微細化に伴うコンタクトホールの高アスペクト化の為、従来のプロセス技術では、開口性とエッチングマスクの選択比の確保とを両立させることは不可能であることがわかった。そのため、高アスペクト化に対応したSACおよびHARC加工技術の開発が必須となった。

## 【0106】

次に、本発明者らが行った実験について説明する。

## 【0107】

まず、今回の実験に用いたエッチング装置について説明する。今回の実験に用いた酸化膜ドライエッチング装置は、例えば図1に示すような二周波励起RIE装置（東京エレクトロン社製のUNITY-IIS-85DI）1である。駆動周波数とバイアス周波数を分けることで、プラズマの生成及び解離と半導体ウエハ2に入射するイオンのエネルギーを独立に制御することが可能である。この二周波励起RIE装置のエッチングリアクターの断面を図1に示す。上記従来の二周波励起RIE装置（UNITY-II-85DI）では、駆動周波数27MHz、バイアス周波数800kHzであったが、それに対して図1の二周波励起RIE装置1では、それぞれ60MHzと2MHzに最適化を行なった。そのことにより、高アスペクト酸化膜エッチングプロセスに対応して、より低圧（ $\sim 1\text{ Pa}$ ）で高密度（ $\sim 10^{11}\text{ cm}^{-3}$ ）なプラズマを安定生成することが可能である。さらに、実験を進めていく過程で大排気化改造（ターボ分子ポンプ排気速度：1300（1/s）を2200（1/s）に改造）を行った。

## 【0108】

次いで、今回の実験に用いた試料について説明する。今回の高アスペクト酸化膜ドライエッチング技術の開発においては、図2～図4に示すような試料を用いた。

## 【0109】

図2は、マイクロ・ローディング計測ダミーの断面図を示している。ここでは、半導体基板（単結晶シリコン等からなる半導体ウエハ）2S上に、厚さ2.0  $\mu\text{m}$ 程度の酸化膜3aが形成され、さらにその上に厚さ400～800nm程度のホトレジスト4aが形成されている。ここで、酸化膜3aに開口しようとして

いるホールの径は、 $0.16 - 0.6 \mu\text{m}$ 程度である。

### 【0110】

図3は、直径 $0.16 \mu\text{m}$ 、アスペクト比10のSACまたは直径 $0.16 \mu\text{m}$ 、アスペクト比10のHARCにおけるSACプロセスのダミーの断面図を示している。ゲート絶縁膜5aは、例えば酸化シリコンからなり、その厚さは、二酸化シリコン換算膜厚で、 $6 \text{ nm}$ 程度である。ワード線WL（ゲート電極6a）は、例えば低抵抗ポリシリコン膜上に窒化タングステンを介してタングステンを設けて成り、その上にはキャップ膜7aが形成されている。キャップ膜7aは、例えば窒化シリコン膜からなる。ワード線WL（ゲート電極6a）、キャップ膜7aおよびワード線WLから露出する半導体基板2Sの表面は、厚さが $40 \sim 60 \text{ nm}$ 程度の薄い窒化シリコン膜8aで覆われている。この窒化シリコン膜8a上には、酸化膜3bが堆積されている。隣接するワード線WL（ゲート電極6a）間の酸化膜3b1の底面（酸化膜3b1が窒化シリコン膜8aに接する面）から酸化膜3b2の上面までの寸法D1は、例えば $600 \text{ nm}$ 程度である。酸化膜3b2上には、厚さが $50 \sim 200 \text{ nm}$ 程度の反射防止膜9aを介して、厚さが $260 \text{ nm}$ 程度のホトレジスト膜4bが堆積されている。ホトレジスト膜4bは、SACプロセスにより孔を形成するためのマスクである。反射防止膜9aはホトレジスト膜をマスクとして既にエッチング処理が施されている。

### 【0111】

図4の(a),(b)は、直径 $0.16 \mu\text{m}$ 、アスペクト比10のSACまたは直径 $0.16 \mu\text{m}$ 、アスペクト比10のHARCにおけるHARCプロセスのダミーの断面図を示している。半導体基板2S上には、厚さが $50 \sim 200 \text{ nm}$ 程度の窒化シリコン膜8bを介して、厚さ $2.0 \mu\text{m}$ 程度の酸化膜3cが堆積されている。酸化膜3c上には、厚さ $200 \sim 300 \text{ nm}$ 程度のドーフトポリシリコン膜で構成されるハードマスク10aが形成されている。図4(a)において、ハードマスク10aの開口寸法D2は、 $450 \text{ nm}$ 程度である。また、図4(b)において、ハードマスク10aの開口寸法D2は、 $160 \text{ nm}$ 程度である。なお、図4(b)は(a)の断面に対して垂直な面であって、(a)のA-A線の断面図である。

## 【0112】

次に、上記ダミーを用いたSACおよびHARCプロセスの評価方法について説明する。今回の実験においては、例えば以下の第1～第4について評価した。

## 【0113】

第1に、酸化膜エッチングにおける開口性を判断する尺度として、マイクロ・ローディング効果を測定した。本実験では、エッチングを行い、 $0.16\mu\text{m}$ と、 $0.5\mu\text{m}$ のホール内のエッチング深さを測定し、次式(1)に従ってマイクロ・ローディング効果を算出した。数値が100%に近いほど微小ホールでのエッチングレートの低下が少ないことを示す。

$$\text{マイクロ・ローディング効果}[\%] = (\phi 0.16\mu\text{mのエッチング深さ}) / (\phi 0.5\mu\text{mのエッチング深さ}) \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

第2に、窒化シリコン膜のエッチング選択比を測定した。すなわち、酸化膜エッチング条件でエッチングを行い、断面SEM (Scanning Electron Microscope) を用いて図5に示される部分の寸法D4, D5を測定し、次式(2)に従い、酸化膜3bとゲート電極6a (ワード線WL) 肩部の窒化シリコン膜8aとの選択比を算出した。寸法D4はゲート電極6a上の酸化膜3bの厚さであり、寸法D5はゲート電極6a上肩部の窒化シリコン膜8aの削れ量を示している。このエッチング処理の際に用いる酸化膜3bのエッチングレートは、上記図1の二周波励起RIE装置 (UNITY-IIS-85DI) 1に組み込まれた終点検出器を用いて算出した。具体的には、プラズマ内の発光種の中で、供給ガスと酸化膜の反応生成物であるSiFをモニタし、穴底の窒化シリコン膜8aが露出した時点での発光強度曲線の落ち込み時間を測定している。

$$\text{窒化シリコン膜の選択比} = ((\text{酸化膜のエッチングレート}) \times (\text{エッチング時間}) - (\text{寸法D4})) / \text{寸法D5} \quad \dots\dots\dots (2)$$

第3に、HARCプロセスにおけるハードマスクの選択比を測定した。すなわち、図6に示すように、酸化膜3cエッチングを行う際のマスクとなるドーフトポリシリコン膜の削れ量の寸法D6と、酸化膜3cのエッチング深さ寸法D7を測定し、対ドーフトポリシリコン選択比を算出した。なお、ハードマスク10a1は、酸化膜エッチング処理後の前記図4のハードマスク10aの状態を示して



いる。

【0114】

第4に、エッチング処理時における半導体ウエハ2の上面（デバイス面に相当）の温度を測定した。ここでは、半導体ウエハ2の上面において、中央と、外周と、それらの間との3点にテンププレート（Wahl社製）を添付し、その上にカプトンテープで覆ったものを各酸化膜エッチング条件のプラズマ中に2分間さらし、各部で測定された温度の平均値で、その温度を算出した。

【0115】

次に、実験結果および検討結果を述べる。

【0116】

前記したように、直径0.15  $\mu\text{m}$ プロセス以降の高アスペクト酸化膜エッチングプロセスにおいて、直径0.18  $\mu\text{m}$ プロセスで適用したSACおよびHARCプロセスでは開口性と高選択比との両立ができないため、さらなる高アスペクト化に対応したSACおよびHARCプロセスの開発が必要である。SACプロセスでは、開口性と穴の底部にある窒化シリコン膜との選択比の確保を両立することが要求される。また、HARCプロセスでは、開口性とエッチングマスクとなるドーフトポリシリコン膜との選択比の確保の両立が要求される。そのため、SACプロセスとHARCプロセスとでは選択比の要求される場所が穴底と半導体ウエハの表面という相違があるため全く同一のプロセスを適用することはできず、各プロセスにおける最適化が必要となる。本実験では、はじめにSACプロセスにおいて開口性を向上させる方向を検討し、加えて高窒化シリコン選択比を実現するプロセスの開発を行った。次に、開口性の向上したプロセスを基にしてHARCプロセスへの適用を検討し、ドーフトポリシリコン膜との選択比の確保が可能なプロセスの開発を行った。

【0117】

まず、SACプロセスの基礎的な検討結果を説明する。

【0118】

本実験で用いた $\text{C}_5\text{F}_8$ のようなフロロカーボン系のガスの場合、プラズマ中での解離によって生成された $\text{CF}_x$ ラジカル（主として $\text{CF}_2$ ラジカル）が穴底の酸

化膜（酸化シリコン膜）上にポリマー層として堆積する。そこに入射したイオンがそのポリマー層を透過して酸化膜とポリマー層の界面にエネルギーを供給することで化学反応が起こり、酸化膜エッチングが進行する。また、酸化膜上に堆積するポリマー層が酸化膜中に存在するO（酸素）との反応によってCOもしくはCOF<sub>x</sub>として除去されるのに対して、窒化シリコン膜上のポリマー層は下地膜（窒化シリコン膜）からの酸素の供給がないため酸化膜上よりもポリマー層が厚くなっており窒化シリコン膜はエッチングが進行し難い。そのため、CF<sub>x</sub>ラジカルフラックスが増加すると酸化膜上では反応が促進されてエッチングレートは増加するが窒化シリコン膜のエッチングレートはそれほど変化しない。しかしながら、穴底に到達するCF<sub>x</sub>ラジカルフラックスが過剰であると酸化膜上にもイオンが透過できないほどにポリマー層が厚くなりエッチングの進行が遅くなる。したがって、開口性の向上及び高窒化シリコン選択比を実現させるためには、酸化膜上と窒化シリコン膜上のポリマー層の厚さを決定するCF<sub>x</sub>ラジカルの生成と入射イオンフラックス及びイオンエネルギーを適切に制御する必要がある。

## 【0119】

本実験では、圧力、ガス流量をパラメータとしてマイクロ・ローディング効果、テーパ角および窒化シリコン選択比の測定を行い、開口性と高選択比とを実現する方向を検討しその機構の解明を行った。

## 【0120】

圧力2.66Paにおいて、C<sub>5</sub>F<sub>8</sub>/O<sub>2</sub>比(=8/9)を一定に保ったまま添加量をC<sub>5</sub>F<sub>8</sub>/O<sub>2</sub>=8/9、16/18cm<sup>3</sup>/minと増加させてアルゴンガス流量400-800cm<sup>3</sup>/minでマイクロ・ローディング効果を測定した。結果を図7に示す。アルゴンガス流量400cm<sup>3</sup>/minの場合にはC<sub>5</sub>F<sub>8</sub>/O<sub>2</sub>ガス流量の増加によって穴底に到達するCF<sub>x</sub>ラジカルフラックスが過剰となり、酸化膜上に過剰なポリマー層が形成されるため、マイクロ・ローディング効果は大きくなる。アルゴンガス流量を600、800cm<sup>3</sup>/minと増加させていくと、滞在時間の減少によって過剰なポリマー層の形成が抑制され、圧力2.66Pa、C<sub>5</sub>F<sub>8</sub>/O<sub>2</sub>/Ar=16/18/800cm<sup>3</sup>/minにすることでマイクロ・ローディング効果が98%まで改善された。このことからマイク

ロ・ローディング効果は、滞在時間に大きく依存しており、滞在時間の短い領域で $C_5F_8$ ラジカル供給量の最適化を行えば改善できることがわかった。

## 【0121】

次に、テーパ角向上について検討した結果を説明する。

## 【0122】

マイクロ・ローディング効果の測定と同様に、圧力2.66Paにおいてアルゴンガス流量をパラメータとして直径0.16 $\mu$ m、アスペクト比10のSACまたは直径0.16 $\mu$ m、アスペクト比10のHARCにおけるSACプロセスのダミーを酸化膜エッチングしたときのテーパ角およびゲート電極上の肩部における窒化シリコン選択比をそれぞれ図8(a), (b)に示す。 $C_5F_8/O_2 = 8/9, 16/18 \text{ cm}^3/\text{min}$ とし、エッチング時間経過後、10%オーバエッチング処理を施したものである。

## 【0123】

$C_5F_8/O_2$ のガス流量を16/18 $\text{cm}^3/\text{min}$ として、アルゴンガス流量を増加させると(図8)、高窒化シリコン選択比とテーパ角の垂直性を両立する結果が得られている。これは、 $C_5F_8/O_2 = 8/9 \text{ cm}^3/\text{min}$ の場合に、窒化シリコン選択比がアルゴンガス流量増加に伴って減少する結果とは逆の傾向である。この結果からテーパ角は、圧力の低下とアルゴンガス流量の増加により滞在時間を短くすれば、より垂直に近づくことが分かり、さらに $C_5F_8$ ガス流量を増加させることでマイクロ・ローディング効果の改善(98%)、垂直に近いテーパ角(89度)および高窒化シリコン選択比(8.8)を同時に満たすことができたことがわかった。

## 【0124】

次に、低圧、大流量条件のエッチング機構の解析について説明する。

## 【0125】

これまでの検討によって、低圧力・大流量条件にして滞在時間が短くなった状態で $C_5F_8$ と $O_2$ ガス流量を増加させると開口性、垂直形状および高窒化シリコン選択比を同時に満たせることが分かった。ここでは、そのエッチング機構を解析した。

## 【0126】

図9に、これまでに測定したマイクロ・ローディング効果(a)、テーパ角(b)および窒化シリコン選択比(c)の滞在時間依存性を示す。 $C_5F_8$ と $O_2$ とのガス流量に関係なく滞在時間の短い領域でマイクロ・ローディング効果は少なく(図9(a)参照)、テーパ角は垂直に近くなっている(図9(b)参照)。滞在時間が長くなると $C_5F_8$ の解離が促進されてCラジカルや $CF_x$ ラジカル密度が増加する。その結果、穴底の酸化膜上には過剰なポリマー層が形成され、穴底に到達できるイオンが少ない高アスペクトな穴ではエッチングレートが減少してマイクロ・ローディング効果が大きくなる。またCラジカルは吸着確率が高く、穴上部の側壁に付着するため、テーパ角が悪化すると考えられる。窒化シリコン選択比に関しては、 $C_5F_8/O_2 = 8/9 \text{ cm}^3/\text{min}$ の場合には測定領域において滞在時間の増加に伴い増加しているが、 $16/18 \text{ cm}^3/\text{min}$ の場合には滞在時間の増加に伴い選択比は低下している(図9(c)参照)。

## 【0127】

次に、この相違が生じる機構を検討した。図10に直径 $0.16 \mu\text{m}$ 、アスペクト比10のSACプロセスを用いたプロセスにおいて $C_5F_8/O_2 = 8/9 \text{ cm}^3/\text{min}$ (図10(a)~(c))と、 $16/18 \text{ cm}^3/\text{min}$ (図10(d)~(f))との場合の酸化膜エッチングレート(図10(a), (d))、ゲート電極上の肩部の窒化シリコンエッチングレート(図10(b), (e))および窒化シリコン選択比の滞在時間(図10(c), (f))依存性を示す。また、図11(a)~(c)にエッチング処理時における酸化膜および窒化シリコン膜のエッチングモデルを示す。図11(a)はラジカル供給不足、(b)はラジカル供給適正、(c)はラジカル供給過剰をそれぞれ示している。

## 【0128】

$C_5F_8/O_2 = 8/9 \text{ cm}^3/\text{min}$ の場合には、滞在時間が $\sim 8 \text{ ms}$ で窒化シリコン選択比が最大となり、 $C_5F_8/O_2 = 16/18 \text{ cm}^3/\text{min}$ の場合には $\sim 3 \text{ ms}$ で最大となる(図10(c), (f)の領域II)。 $C_5F_8/O_2 = 8/9 \text{ cm}^3/\text{min}$ の場合、図10(a)~(c)に示す領域Iでは、滞在時間が短いために穴底に到達する $CF_x$ ラジカルが少なく、またアルゴンガスの比率が高いためにアル

ゴンガスが電離して生成されるイオン密度が高い状態にあると考えられる。この場合、酸化膜上のポリマー層は薄く酸化膜のエッチングはエッチャントとなる $CF_x$ ラジカルの供給量に律速され、窒化シリコン膜上のポリマー層も薄くイオンが十分に透過できるため窒化シリコン膜もエッチングされやすい状態であると考えられる(図11(a))。

### 【0129】

この状態から滞在時間が増える(図10の領域II)にしたがい $CF_x$ ラジカルフラックスが増加してポリマー層の形成が促進される。酸化膜上ではポリマー層中の炭素(C)や $CF_x$ が酸化膜中の酸素(O)と反応して除去されるため、ポリマー層は厚くならず、イオンがポリマー層を透過して直接、酸化膜界面に到達できるほどの膜厚になっていると考えられる。それに対して、窒化シリコン膜上には、窒化シリコンからの酸素(O)の供給が無いためにポリマー層の除去効果が少なく、イオンの透過距離以上に厚いポリマー層が形成されていると考えられる。そのため、窒化シリコンのエッチングレートは滞在時間が増加して $CF_x$ ラジカルの供給量が増えてもほとんど変化しない(図11(b))。その結果、窒化シリコン選択比が向上していると考えられる。さらに、滞在時間が長い領域(図10

III)になると、 $CF_x$ ラジカル供給量が過剰な状態になり酸化膜上にもイオンが透過できる膜厚以上のポリマー層が形成されるため、酸化膜のエッチングレートが低下し、窒化シリコン選択比が低くなる(図11(c))。図10の(d)~(f)に示す $C_5F_8/O_2 = 16/18 \text{ cm}^3/\text{min}$ の場合には、窒化シリコン選択比のピークが滞在時間の短い方向にシフトしている。 $C_5F_8/O_2 = 8/9 \text{ cm}^3/\text{min}$ の場合と異なり滞在時間が3msにおいて酸化膜エッチングレートが速く、窒化シリコンエッチングレートが遅くなっている。これは $C_5F_8$ 流量を増加したことによって $C_5F_8$ が解離して生成される $CF_x$ ラジカル密度が増加し、滞在時間が短い領域で穴底に供給される $CF_x$ ラジカルフラックスが $C_5F_8/O_2 = 8/9 \text{ cm}^3/\text{min}$ の場合の領域IIにおける $CF_x$ ラジカルフラックスと同等になるためだと考えられる。これにより、 $C_5F_8$ の過剰な解離が抑制されてマイクロ・ローディング効果が少なく、テーパ角が垂直形状になっている滞在時間の短い領域で高窒化シリコン選択比が実現できていると考えられる。

## 【 0 1 3 0 】

以上の結果から 0. 1 5  $\mu$  m プロセス以降の高アスペクト比酸化膜エッチングにおいては、低圧力で大流量のガス条件が必須であり、0. 1 5  $\mu$  m プロセスの開発から UNITY-IIS85-DI のターボ分子ポンプの排気速度を 1 3 0 0 ( l / s ) から 2 2 0 0 ( l / s ) に変更し、圧力 2. 6 6 P a においてガス流量 9 0 0 c m <sup>3</sup> / m i n でも十分に排気が可能になり、安定してエッチングプロセスを行えるようにした。

## 【 0 1 3 1 】

次に、エッチング処理時の半導体ウエハ上面の温度依存性について説明する。

## 【 0 1 3 2 】

窒化シリコン選択比を向上させる手段として、窒化シリコン膜上に保護膜となるポリマー層を厚く堆積させる方法がある。半導体ウエハの温度を高くしていったときの窒化シリコン選択比を調査した。その結果、半導体ウエハの温度上昇に伴い、窒化シリコン選択比は増加し、半導体ウエハの温度が 1 2 3  $^{\circ}$  C で、標準条件 ( 半導体ウエハの温度が 6 8  $^{\circ}$  C ) の 7. 7 から 1 6. 1 と 2 倍の選択比を実現した ( 図 1 2 ) 。なお、半導体ウエハの温度が 9 0  $^{\circ}$  C で、選択比は 9. 5、半導体ウエハの温度が 1 1 2  $^{\circ}$  C で、選択比は 1 3. 2 が得られた。

## 【 0 1 3 3 】

この機構は、半導体ウエハの温度が上がることで、C F <sub>x</sub> ラジカル の吸着確率が減少し、穴上部で側壁に堆積し難くなり、穴底まで輸送されて窒化シリコン膜上での堆積量が増加すると考えられる。ここで、懸念されるのは、半導体ウエハの温度が上がり C F <sub>x</sub> ラジカル が穴底に輸送される量が増えて、酸化膜の開口性が悪化することである。

## 【 0 1 3 4 】

そこで、マイクロ・ローディング効果の半導体ウエハ温度依存性を確認した ( 図 1 2 ) 。半導体ウエハ温度の上昇に対してマイクロ・ローディング効果の増大は見られず、実用上問題ないといえる。また、半導体ウエハの温度が 1 2 3  $^{\circ}$  C はホトレジストの融解の面からも問題ないと考えられる。以上のことから、エッチング処理時において半導体ウエハの温度を上げることは、窒化シリコン選択比の

向上に非常に有効な手段であり、SACプロセスには、半導体ウエハの温度が123℃を適用した。

## 【0135】

今回開発した条件は、例えば直径0.16  $\mu\text{m}$ 、アスペクト比が10のSACプロセスを実現しているが、コンタクトホールエッチングにおいて致命的な不良となる非開口を防ぐために、開口性の確認を行った。サンプルとして、SACプロセスにおけるダミーのゲート電極上に堆積する酸化膜の膜厚を変更して、アスペクト比を13にしたものを用いた。その結果、開口性とテーパ角に関しては問題なく加工できている。

## 【0136】

これまでの検討から、例えば直径0.16  $\mu\text{m}$ 、アスペクト比10のSACプロセス条件の一例を図13に示す。本工程では、酸化膜エッチング後、窒化シリコン膜上のポリマー層を除去するための後処理および窒化シリコンエッチングを行っている。

## 【0137】

SACプロセスにおいて特に問題となるのはSACプロセスにより形成されたコンタクトホールとゲート電極（ワード線）とのショートであり、そのコンタクトホールとゲート電極とのショートマージンを直径0.16  $\mu\text{m}$ 、アスペクト比10のSACプロセスと直径0.18  $\mu\text{m}$ 、アスペクト比7のSACプロセスとで比較した。直径0.18  $\mu\text{m}$ 、アスペクト比7のSACプロセス条件ではショートマージンは27 nmと少ない。それに対して、上記直径0.16  $\mu\text{m}$ 、アスペクト比10のSACプロセス適用条件の場合、酸化膜エッチングにおける窒化シリコン膜の削れ量を低減したことで、直径0.18  $\mu\text{m}$ 、アスペクト比7のSACプロセス条件に対して～10 nmのショートマージンの増加を実現した。この結果から本条件のSACプロセスはショートマージンが十分確保されており、量産可能なレベルにあるといえる。

## 【0138】

高アスペクトSACプロセスにおいては、低圧力で大流量な条件では高窒化シリコン選択比を確保することが困難であり、主に $\text{C}_4\text{F}_8$ といったC/F比の低い

フロロカーボン系のガスに $\text{CH}_2\text{F}_2$ を添加して使用する等の化学反応の面から対応してきた。本実験では $0.18\text{ }\mu\text{m}$ プロセスに適用した $\text{C}_5\text{F}_8$ をそのまま用いて反応系を変えることなく、しかも困難とされてきた低圧力、大流量条件において高窒化シリコン選択比を確保できるプロセスを構築した。このことは、今後一層設計ルールの微細化に伴って高アスペクト化していく酸化膜エッチングプロセスにおいて有効な技術であり、高性能であり、かつ、信頼性の高い半導体集積回路装置を提供できると考えられる。

## 【0139】

次に、以上のようなSACプロセスの検討結果に続いて、HARCプロセスの検討結果について説明する。

## 【0140】

HARCプロセス（情報蓄積用容量素子の下部電極が形成される孔）は、アスペクト比が $\sim 13$ （例えば深さ $2.0\text{ }\mu\text{m}$ ／直径 $0.16\text{ }\mu\text{m}$ ）の加工が要求されると同時に、 $0.16\text{ }\mu\text{m}$ という狭ピッチにおいてエッチングマスクのハードマスク（ドーフトポリシリコン）との選択比を確保しなければならない。そのため、SACプロセスと同様に半導体ウエハ温度を上げる方法では、半導体ウエハの上面の $\text{CF}_x$ ラジカル堆積量が減少し、ドーフトポリシリコン選択比はむしろ低下してしまう。そこで、HARCプロセスでは、SACプロセスとは異なったプロセス条件の最適化を行った。

## 【0141】

深さ $2.0\text{ }\mu\text{m}$ のコンタクトホールを加工するためには、穴底に十分なエネルギーを持ったイオンフラックスの供給が必要であり、高プラズマ密度が要求される。また、ドーフトポリシリコン選択比の向上のためには、酸化膜エッチングレートを増加させる方法と、ドーフトポリシリコン自身の削れ量を低下させる方法の二つがあるが、今回は、 $\text{C}_5\text{F}_8$ と $\text{O}_2$ ガス流量を増加して $\text{CF}_x$ ラジカル供給量を増加させ、酸化膜エッチングレートを向上させる方法をとった。

## 【0142】

次に、上記のようなHARCプロセスによる加工形状について説明する。

## 【0143】



これまでの検討から決定された条件の開口性のマージンを評価するために、酸化膜の膜厚を  $3.0 \mu\text{m}$  にして評価した。その結果、アスペクト比 $\sim 17$  (深さ  $3.1 /$  直径  $0.18 \mu\text{m}$ ) のコンタクトホールの実現している。よって、アスペクト比 $\sim 13$  (深さ  $2.0 /$  直径  $0.16 \mu\text{m}$ ) の HARC プロセスに対して、本条件は開口性に関するマージンがあると判断した。種々の検討から、直径  $0.16 \mu\text{m}$ 、アスペクト比  $13$  の HARC プロセスの条件の一例として図 14 のようにした。

## 【0144】

直径  $0.18 \mu\text{m}$ 、アスペクト比  $7$  の SAC または直径  $0.18 \mu\text{m}$ 、アスペクト比  $9$  の HARC における HARC プロセスの条件においてジャスト・エッチングで止めた段階で、ドーフトポリシリコンが削れすぎており、特に半導体ウエハの周辺ではドーフトポリシリコンがほとんど無くなり、穴上部で酸化膜がエッチングされて穴が広がってしまう。穴底で細くなる形状を改善するために、オーバーエッチングが必要であるがドーフトポリシリコンの残膜が不足している。それに対して、直径  $0.16 \mu\text{m}$ 、アスペクト比  $10$  の SAC または直径  $0.16 \mu\text{m}$ 、アスペクト比  $10$  の HARC に適用した条件の場合、直径  $0.18 \mu\text{m}$ 、アスペクト比  $7$  の SAC または直径  $0.18 \mu\text{m}$ 、アスペクト比  $9$  の HARC の条件の場合と比較して垂直加工性もよく (テーパ角  $87.5^\circ$  を  $89^\circ$  にできた)、また、肩部のドーフトポリシリコン選択比も向上しており ( $8$  を  $11$  にできた)、さらに寸法シフトも少なく加工できている ( $69 \text{mm}$  を  $27 \text{mm}$  にできた)。

## 【0145】

次に、最小加工寸法が  $0.16 \mu\text{m}$  程度の SAC および HARC プロセスに本発明を適用した場合を一例として説明する。

## 【0146】

まず、本実施の形態で用いたエッチング装置を図 15 によって説明する。このエッチング装置は、前記図 1 に示した二周波励起 RIE 装置 1 と同じ装置である。二周波励起 RIE 装置 1 のエッチング処理室を形成するチャンバ 1a は、例えば円筒形状に形成されたアルミニウムからなり、その表面にはアルマイト処理 (陽極酸化処理) が施されている。このチャンバ 1a は接地されている。このチャ

ンバ 1 a の底部には、セラミック等のような絶縁板を介して略円柱状のサセプタ支持台が設けられており、さらに、その上には下部電極を構成するサセプタ 1 b が設けられている。

【 0 1 4 7 】

上記サセプタ支持台の内部には、冷却室が設けられており、この冷却室には、例えば液体窒素等のような冷媒が導入され循環され、その冷熱がサセプタ 1 b を介して半導体ウエハ 2 に伝導されることにより、半導体ウエハ 2 の主面（上記デバイス面に相当）が所望の温度に制御されている。

【 0 1 4 8 】

サセプタ 1 b は、その上面中央が凸状の円板状に形成され、その上に半導体ウエハ 2 と平面形状が略同形の静電チャック 1 c が設けられている。半導体ウエハ 2 は、この静電チャック 1 c の絶縁材の間に介在された電極に所定の直流電圧が印加されることにより、例えばクーロン力によって静電吸着される。上記絶縁板、サセプタ支持台、サセプタ 1 b、さらには静電チャック 1 c には、半導体ウエハ 2 の裏面に、例えばヘリウム（He）ガス等のような伝熱媒体を供給するためのガス通路が形成されており、その伝熱媒体を介してサセプタ 1 b の冷熱が半導体ウエハ 2 に伝達され半導体ウエハ 2 が所定の温度に維持されるようになっている。前記サセプタ 1 b の上面周縁部には、静電チャック 1 c 上の半導体ウエハ 2 を取り囲むように、環状のフォーカスリングが配置されている。このフォーカスリングは、半導体ウエハ 2 と同一材料のシリコン等からなり、半導体ウエハ 2 の主面内のエッチングの均一性を向上させる機能を有している。

【 0 1 4 9 】

サセプタ 1 b の上方には、このサセプタ 1 b と平行に対向して上部電極 1 d が設けられている。この上部電極 1 d は、絶縁材を介してチャンバ 1 a の上部に支持されており、電極板 1 d 1 と、これを支持する電極支持体 1 d 2 とを有している。電極板 1 d 1 は、例えばシリコン、炭化シリコン（SiC）またはアモルファスカーボンからなり、サセプタ 1 b の対向面に配置され、多数の孔 1 d 3 を有している。また、電極支持体 1 d 2 は、例えばアルミニウムからなり、その表面はアルマイト処理が施されている。このエッチング装置では、サセプタ 1 b （下

部電極)と上部電極1 dとの間隔(以下、電極間隔という)を、例えば17 mm～60 mmの範囲で変更可能なようになっている。なお、電極板1 d 1の材料としては、上記材料の中でもスカベンジングが可能なシリコンを用いることが好ましい。

#### 【0150】

上部電極1 dにおける電極支持体1 d 2の中央には、ガス導入口が設けられ、そのガス導入口にはガス供給管が接続されており、さらにそのガス供給管にはバルブおよび上記マスフローコントローラを介して処理ガス供給源が機械的に接続されている。この処理ガス供給源からエッチングガスが供給される。このチャンバ1 aの一部には、ガス排気管1 eが設けられている。このガス排気管1 eは、例えばターボ分子ポンプ等のような真空ポンプが備えられており、これにより、チャンバ1 a内を、所定の減圧雰囲気(例えば1～13.3 Pa)まで真空可能なように構成されている。真空ポンプの排気速度は、例えば2200 (L/s)であり、大排気化が可能となっている。また、チャンバ1 aの側壁にはゲートバルブが設けられている。半導体ウエハ2は、そのゲートバルブを開いた状態で、チャンバ1 aと、それに隣接するロードロック室との間で搬送されるようになっている。

#### 【0151】

上部電極1 dには、第1の高周波電源1 fが、整合器およびハイパスフィルタHPFを介して電氣的に接続されている。この第1の高周波電源1 fは、例えば50～150 MHzの範囲の周波数の設定が可能となっており、このように高い周波数の電圧を印加することによりチャンバ1 a内に好ましい解離状態で、かつ、高密度のプラズマを形成することができ、従来よりも低圧条件下でのプラズマエッチング処理が可能となっている。この第1の高周波電源1 fの周波数は、例えば50～80 MHzが好ましく、典型的には、60 MHzまたはその近傍の条件が採用される。

#### 【0152】

下部電極としてのサセプタ1 bには、第2の高周波電源1 gが、ローパスフィルタLPFおよび整合器を介して電氣的に接続されている。この第2の高周波電

源 1 g は、例えば 1 ～ 4 M H z の範囲の周波数の設定が可能となっており、このような範囲の周波数の電圧を印加することにより半導体ウエハ 2 に対してダメージを与えること無く適切なイオン作用を与えることができる。この第 2 の高周波電源 1 g の周波数は、例えば 1 ～ 3 M H z が好ましく、典型的には、2 M H z またはその近傍の条件が採用される。

## 【 0 1 5 3 】

この二周波励起 R I E 装置 1 において、本明細書で開示される処理圧力は、上記したように、例えばバラトン真空計によって測定されている。このバラトン真空計は、チャンバ 1 a 内の側壁に設けられ、上下電極から若干離れている。このため、上記処理圧力は、互いに対向する上部電極 1 d と、サセプタ 1 b （下部電極）との間の圧力と厳密には異なる。ただし、エッチング装置は、上記 R I E 装置を用いることに限定されるものではなく種々変更可能であり、他の平行平板型のエッチング装置を用いる場合においても本発明を適用することが可能である。

## 【 0 1 5 4 】

次に、上記 D R A M の製造方法の一例を説明する。図 1 6 は、D R A M の製造工程中における半導体ウエハ 2 の平面図を示している。半導体ウエハ 2 は、例えば平面略円形状に形成されており、その外周の一部には、位置合わせ等に用いられる切り欠き 2 a が設けられている。半導体ウエハ 2 の直径は、例えば 2 0 0 m m 程度である。ただし、半導体ウエハ 2 の直径は、これに限定されるものではなく種々変更可能であり、例えば直径 3 0 0 m m の半導体ウエハを用いることもできる。半導体ウエハ 2 の直径を変えた場合に、上記プラズマ容積またはチャンバ容積が変わるときには、それに応じて上記滞在時間も変わるので、酸化膜エッチング条件も変わる場合が生じる。なお、図 1 6 においては、半導体ウエハ 2 に仮想的に X 軸とこれに垂直な Y 軸（上記切り欠き 2 a 上を通過するように配置）を当てはめている。図 1 7 以降の半導体ウエハ 2 の要部断面図において、X、X と付してあるのは、この図 1 6 の X 軸方向に沿った断面図を示し、Y、Y と付してあるのは図 1 6 の Y 軸方向に沿った断面図を示している。

## 【 0 1 5 5 】

図 1 7 および図 1 8 は、本実施の形態の D R A M の製造工程中における半導体

ウエハ 2 のメモリセル領域における上記 X、X および Y、Y の要部断面図を示している。まず、例えば p 型で比抵抗が  $10 \Omega \text{cm}$  程度の単結晶シリコンからなる半導体基板 2 S（この段階では平面が略円形状の半導体ウエハ 2）の主面に分離部 1 1 を形成した後、半導体基板 2 S に p ウエル PW を形成する。分離部 1 1 は、素子分離領域の半導体基板 2 S をドライエッチングして溝を形成した後、溝の内部を含む半導体基板 2 S 上に CVD（Chemical Vapor Deposition）法で酸化シリコン膜等からなる絶縁膜を堆積し、続いて、その絶縁膜を化学機械研磨（Chemical Mechanical Polishing; CMP）法で研磨して溝の内部に残すことにより形成する（トレンチアイソレーション）。また、p ウエル PW は、半導体基板 2 S に、例えばホウ素（B）等のような不純物をイオン打ち込みし、続いて半導体基板 2 S をアニール（熱処理）してその不純物を拡散させることにより形成する。

## 【 0 1 5 6 】

続いて、p ウエル PW の表面をフッ酸（HF）系の洗浄液を使って洗浄した後、半導体基板 2 S をウェット酸化して p ウエル PW の表面に清浄なゲート絶縁膜 5 b を形成する。このゲート絶縁膜 5 b は、例えば酸化シリコンからなり、その厚さは、二酸化シリコン換算膜厚で、例えば 6 nm 程度である。

## 【 0 1 5 7 】

このゲート絶縁膜 5 b は、酸化シリコン膜に代えて酸窒化シリコン膜で構成しても良い。すなわち、酸窒化シリコン膜は、酸化シリコン膜に比べて膜中における界面準位の発生を抑制したり、電子トラップを低減したりする効果が高いため、ゲート絶縁膜 5 b を酸窒化シリコン膜とすることにより、ゲート絶縁膜 5 b のホットキャリア耐性を向上でき、絶縁耐性を向上させることができる。酸窒化シリコン膜を形成するには、例えば半導体基板 2 S を NO、NO<sub>2</sub> または NH<sub>3</sub> といった含窒素ガス雰囲気中で熱処理すれば良い。また、酸化シリコンからなるゲート絶縁膜 5 b を形成した後、半導体基板 2 S を上記した含窒素ガス雰囲気中で熱処理し、ゲート絶縁膜 5 b と半導体基板 2 S との界面に窒素を偏析させることによっても、上記と同様の効果を得ることができる。

## 【 0 1 5 8 】

また、ゲート絶縁膜 5 b を、例えば窒化シリコン膜あるいは酸化シリコン膜と

窒化シリコン膜との複合絶縁膜で形成しても良い。酸化シリコンからなるゲート絶縁膜 5 b が二酸化シリコン換算膜厚で 5 n m 未満、特に 3 n m 未満まで薄くなると、直接トンネル電流の発生やストレス起因のホットキャリア等による絶縁耐圧の低下が顕在化する。窒化シリコン膜は、酸化シリコン膜よりも誘電率が高いため、その実際の膜厚を二酸化シリコン換算膜厚よりも厚くできる。すなわち、窒化シリコン膜を有する場合には、物理的に厚くても、相対的に薄い二酸化シリコン膜と同等の容量を得ることができる。従って、ゲート絶縁膜 5 b を単一の窒化シリコン膜あるいはそれと酸化シリコンとの複合膜で構成することにより、その実効膜厚を、酸化シリコン膜で構成されたゲート絶縁膜よりも厚くすることができるので、トンネル漏れ電流の発生やホットキャリアによる絶縁耐圧の低下を改善することができる。

## 【 0 1 5 9 】

その後、ゲート絶縁膜 5 b 上にゲート電極 6 b (ワード線 W L) を形成し、続いてゲート電極 6 b の両側の p ウエル P W に低不純物濃度の n 型半導体領域 1 2 a, 1 2 b を形成する。このゲート電極 6 b (ワード線 W L) は、例えばリンなどの不純物をドーピングした多結晶シリコン膜を半導体基板 1 上に C V D 法で堆積し、次いでその上部に W N (窒化タングステン) 膜と W (タングステン) 膜とをスパッタリング法で堆積し、さらにその上部に窒化シリコン膜等からなるキャップ膜 7 b を C V D 法で堆積した後、ホトレジスト膜をマスクにしてこれらの膜をドライエッチングすることにより形成する。このゲート電極 6 b を構成する多結晶シリコン膜の厚さは、例えば 5 0 ~ 1 0 0 n m 程度であり、窒化タングステン膜の厚さは、例えば数 n m 程度、タングステン膜の厚さは、例えば 5 0 ~ 1 0 0 n m 程度である。また、キャップ膜 7 b は、厚さ 2 0 0 n m 程度の窒化シリコン膜を堆積してなる。また、n 型半導体領域 1 2 a, 1 2 b は、p ウエル P W に、例えばヒ素 (A s) 等のような不純物をイオン打ち込みして形成する。

## 【 0 1 6 0 】

次いで、半導体基板 2 S 上に C V D 法で窒化シリコン膜等からなる絶縁膜 8 c を低圧 C V D 法等により厚さ 4 0 ~ 6 0 n m 程度堆積する。この段階で絶縁膜 8 c は、互いに隣接するワード線 W L 間を埋め込まないような状態で、半導体基板

2 S の主面、ゲート電極 5 b の側面およびキャップ膜 7 b の表面（上面および側面）を被覆している。続いて、その上に、酸化膜 3 d を堆積する。その上面を化学機械研磨法で平坦化する。このようにして酸化膜 3 d を形成する。酸化膜 3 d の厚さを示す寸法 D 1 は、上記と同じく、例えば 6 0 0 n m 程度である。

## 【 0 1 6 1 】

続いて、酸化膜 3 d 上に、例えば厚さ 5 0 ～ 2 0 0 n m 程度の反射防止膜 9 b を回転塗布法等によって堆積した後、その上に、例えば厚さ 4 0 0 ～ 8 0 0 n m 程度のホトレジスト膜 4 c を回転塗布法等によって堆積する。ホトレジスト膜 4 c は、コンタクトホール形成用のマスク膜であり、その開口部からコンタクトホール形成領域が露出され、それ以外が覆われるように、上記堆積処理後に通常の露光処理によってパターニングされている。ホトレジスト膜 4 c の開口部の寸法 D 8 a, D 8 b およびその開口部の隣接間隔の寸法 D 8 c は、例えば 1 6 0 n m 程度である。

## 【 0 1 6 2 】

その後、図 1 9 および図 2 0 に示すように、上記したホトレジスト膜 4 c をマスクとして反射防止膜 9 b をエッチング除去する。エッチング装置は、例えば二周波励起平行平板型 R I E 装置を用いた。

## 【 0 1 6 3 】

次いで、本発明の S A C プロセスを用いて、図 2 1 および図 2 2 に示すように、ホトレジスト膜 4 c をエッチングマスクとして、そこから露出する酸化膜 3 d 部分をエッチング除去する。これにより、コンタクトホール 1 4 a, 1 4 b を形成する。ただし、このエッチング処理後の段階では、コンタクトホール 1 4 a, 1 4 b の底部に絶縁膜 8 c がエッチングストッパとして残され、コンタクトホール 1 4 a, 1 4 b は完全には形成されていない。このコンタクトホール 1 4 a, 1 4 b の下部の直径は、例えば 6 0 n m 程度である。したがって、このコンタクトホール 1 4 a, 1 4 b のアスペクト比は、上記酸化膜 3 d の厚さの寸法 D 1 （図 1 7 参照）が 6 0 0 n m なので、深さ 6 0 0 / 幅 6 0 = 1 0 程度である。このコンタクトホール 1 4 a, 1 4 b 内における酸化膜 3 d の表面（コンタクトホール 1 4 a, 1 4 b の底面および側面（内面））には、薄いポリマー層 1 5 が被着

されており、その酸化膜 3 d の表面が覆われている。

【0164】

この SAC プロセスの際のエッチング条件は、例えば次の通りである。エッチング装置は、上記図 15 に示した二周波励起 R I E 装置 1 を用いた。エッチング処理時のチャンバ内の処理圧力は、例えば 2. 6 6 P a 程度、高周波パワーは、例えば上部電極／下部電極 = 8 0 0 / 7 0 0 W 程度、エッチングガスは、例えば  $C_5F_8/O_2/Ar = 16/18/800\text{ cm}^3/\text{min}$  程度、電極温度は、例えば上部電極／下部電極 = 6 0 / 2 0 °C 程度、電極間隔は、例えば 2 1 m m 程度である。エッチング時間は、プラズマからの発光のうち、 $\lambda = 440\text{ nm}$ （フッ化シリコン（SiF））を観測し、波形の落ち込みを酸化シリコン膜のエッチングが終了したジャスト時間としてオーバー・エッチング処理を 1 0 % 実施した。

【0165】

この場合、プラズマ内滞在時間は、例えば 2. 1 1 m s 程度、チャンバ内滞在時間で表すと、例えば 1 4 2. 1 3 m s 程度である。 $C_5F_8$  分圧は、例えば 0. 0 5 P a である。また、ガス流量比 ( $O_2/C_5F_8$ ) は、例えば 1. 1 2 5 である。また、 $(C_5F_8 + O_2)/Ar$  は、例えば 0. 0 4 2 5 程度である。また、プラズマ密度は、例えば  $10^{11}/\text{cm}^3$  の前半程度である。

【0166】

また、エッチング処理中における半導体基板 2 S の温度は、エッチング装置のサセプタ 1 b（図 15 参照）に設置されたガス通路より供給されるヘリウム（He）の圧力と流量または静電電圧の設定により、例えば 1 2 0 °C 程度に設定されている。この半導体基板 2 S の温度は、エッチング処理中の半導体基板 2 S の主面の温度であり、熱は主としてプラズマから供給される。この温度は、前記したように、半導体ウエハ 2 の主面上の中央、外周およびそれらの間の 3 点に温度測定用のテンププレートを貼り付け、3 点の測定温度を平均することで得られたものである。

【0167】

エッチング終了後、窒化シリコン膜に対する酸化シリコン膜の選択比を算出した。ここで選択比は、図 2 3 に例示するようにエッチングされた場合に、（酸化



シリコン膜（酸化膜 3 d）のエッチングレート）／（ゲート電極 6 b 上の肩部の窒化シリコン膜（絶縁膜 8 c）のエッチングレート）である。ゲート電極 6 b 上の肩部の窒化シリコン膜のエッチングレートは、図 2 3 に示す垂直方向の削れが最大の部分の削れ寸法 D 9 を基にして算出した。その結果、比較例の上記選択比が 7 であったのに対して、本実施の形態の上記選択比は 1 6 . 1 であった。この結果から低圧力、エッチングガスの大流量化および半導体基板 2 S の温度の高温化により選択比が 2 倍に向上した。すなわち、本実施の形態によれば、アスペクト比の高いコンタクトホール 1 4 a , 1 4 b を、選択比を十分に確保した状態で良好に開口させることが可能となる。したがって、DRAM の歩留まりおよび信頼性を向上させることが可能となる。また、微細化を推進できるので、DRAM の性能および集積度の向上を推進させることが可能となる。なお、図 2 3 は、図 2 1 の要部拡大断面図である。図 2 3 においては、図面を見易くするために、図 2 1 に示している n 型半導体領域 1 2 a , 1 2 b 、ポリマー層 1 5 、反射防止膜 9 b およびホトレジスト膜 4 c 等を図示していない。

## 【 0 1 6 8 】

続いて、上記酸化膜のエッチング処理後、真空状態を破らずに連続して、上記ポリマー層 1 5 を除去する。これにより、図 2 4 および図 2 5 に示すように、コンタクトホール 1 4 a , 1 4 b 内の表面（側面および底面）から酸化膜 3 d を露出させる。この際の処理条件は、ポリマー層のみが除去され、ホトレジスト膜が除去されない条件としている。

## 【 0 1 6 9 】

その後、真空状態を破らずに連続して、ホトレジスト膜 4 c をエッチングマスクとして、コンタクトホール 1 4 a , 1 4 b の底部の絶縁膜 8 c をエッチング除去する。これにより、図 2 6 および図 2 7 に示すように、コンタクトホール 1 4 a , 1 4 b の底面から半導体基板 2 S の主面の一部（n 型半導体領域 1 2 a , 1 2 b ）を露出させ、コンタクトホール 1 4 a , 1 4 b を完成する。エッチング装置は、上記酸化膜エッチングおよびその後の処理に用いた図 1 5 の二周波励起 R I E 装置 1 を用いた。

## 【 0 1 7 0 】

この結果、上記酸化膜 3 d のエッチング条件（SAC プロセス）を採用した場合には、ゲート電極 6 b とコンタクトホール 1 4 a, 1 4 b とのショートマージンは、比較例が  $\sim 30 \text{ nm}$  程度であるのに対して、例えば  $\sim 40 \text{ nm}$  程度に向上させることができた。このショートマージンは、ゲート電極 6 b とコンタクトホール 1 4 a, 1 4 b 内に埋め込まれる導体膜との電気的および物理的な分離が補償される程度に確保されていることが好ましく、一般的には  $30 \text{ nm} \sim 40 \text{ nm}$  程度必要とされている。本実施の形態においては、ショートマージンを  $\sim 40 \text{ nm}$  程度に向上できるので、上記一般的な要求を満足している。もちろん、コンタクトホール 1 4 a, 1 4 b が完全に開口されていないといった不具合も生じない。したがって、高集積で高性能な DRAM の歩留まりおよび信頼性を向上させることが可能となる。このショートマージンは、図 2 8 に例示されるゲート電極 6 b と、コンタクトホール 1 4 a, 1 4 b との距離が最小の部分の寸法 D10 を測定した。なお、図 2 8 は、図 2 6 の要部拡大断面図である。図 2 8 においては、図面を見易くするために、反射防止膜およびホトレジスト膜等の各部を図示していない。

## 【0171】

次いで、ホトレジスト膜 4 c および反射防止膜 9 a をアッシング処理によって除去した後、半導体基板 2 S の主面上に、例えば n 型のドーフトポリシリコン膜を CVD 法等によって堆積し、さらに、そのドーフトポリシリコン膜を CMP 法等によって研磨することにより、図 2 9 および図 3 0 に示すように、コンタクトホール 1 4 a, 1 4 b 内にドーフトポリシリコンで形成されるプラグ 1 6 a, 1 6 b を形成する。続いて、半導体基板 2 S に対して熱処理を施すことにより、プラグ 1 6 a, 1 6 b 中の不純物（例えばリンまたはヒ素）を半導体基板 2 S に拡散させる。これにより、半導体基板 2 S に  $n^+$  型半導体領域 1 2 c をソース・ドレイン用の n 型半導体領域 1 2 a, 1 2 b に重なるように自己整合的に形成する。ここまでの工程により半導体基板 2 S にメモリセル選択 MISQs を完成する。

## 【0172】

続いて、図 3 1 および図 3 2 に示すように、酸化膜 3 d およびプラグ 1 6 a,

16b上に、例えばTEOSガスを用いたプラズマCVD法等によって酸化シリコン膜からなる絶縁膜17を堆積する。その後、その絶縁膜17に、プラグ16aの一部が露出するようなスルーホールを穿孔した後、そのスルーホール内および絶縁膜17上に、例えばタングステン等のような金属膜をスパッタリング法またはCVD法あるいはその両方を用いて堆積し、さらに、その金属膜をスルーホール内のみに残されるようにCMP法等によって研磨する。これにより、スルーホール内にプラグを形成する。このプラグは、プラグ16aと電氣的に接続されている。

#### 【0173】

次いで、その絶縁膜17上に、例えば厚さ50nm程度の窒化シリコンからなる絶縁膜18をCVD法等によって堆積した後に、その上に、例えばTEOSガスを用いたプラズマCVD法等によって酸化シリコンからなる絶縁膜19を堆積する。続いて、その絶縁膜18、19にビット線形成用の溝を形成した後、その溝内および絶縁膜19上に、例えばタングステン等のような金属膜をスパッタリング法等によって堆積し、さらに、その金属膜を上記溝内のみに残されるようにCMP法等によって研磨する。これにより、ビット線形成用の溝内にタングステン等からなる埋め込みビット線BLを形成する。このビット線BLは、上記絶縁膜17に穿孔されたスルーホール内のプラグを介してプラグ16aと電氣的に接続され、メモリセル選択MISQsの一方のn型半導体領域12a、n<sup>+</sup>型半導体領域12cと電氣的に接続している。その後、絶縁膜19および埋め込みビット線BL上に、例えば窒化シリコンからなる絶縁膜20をプラズマCVD法等によって100nm程度の厚さで堆積する。

#### 【0174】

次いで、絶縁膜17～20にプラグ16bの上面が露出するようなスルーホール21をフォトリソグラフィ技術およびドライエッチング技術によって穿孔する。スルーホール21は、例えば平面略楕円形状に形成されている。続いて、スルーホール21内および絶縁膜20上に、例えばドーフトポリシリコン膜をCVD法等によって堆積した後、これをスルーホール21内のみに残されるようにCMP法等によって研磨する。これにより、スルーホール21内にドーフトポリシリ

コン膜からなるプラグ 2 2 a を形成する。プラグ 2 2 a は、プラグ 1 6 b と電氣的に接続されている。

【 0 1 7 5 】

続いて、絶縁膜 2 0 上に、例えば T E O S ガスを用いたプラズマ C V D 法等によって酸化シリコン膜からなる絶縁膜 3 e ( 上記酸化膜に相当 ) を、例えば 2  $\mu$  m 程度の厚さで堆積する。その後、絶縁膜 3 e 上に、例えばドーフトポリシリコン膜等からなるマスク形成膜 1 0 を C V D 法等によって厚さ 2 0 0 ~ 3 0 0 n m 程度堆積する。マスク形成膜 1 0 の構成材料をドーフトポリシリコンとすることにより、汚染を低減でき、また、加工を容易にすることができる。マスク形成膜 1 0 の材料として、例えばタングステン等のような金属膜を用いることもできる。この場合、固く削れ難い、また、他の材料との選択比を取りやすいことから酸化膜の加工精度を向上させることができる。

【 0 1 7 6 】

次いで、マスク形成膜 1 0 上に、例えば厚さ 5 0 ~ 2 0 0 n m 程度の反射防止膜 9 c および厚さ 4 0 0 ~ 8 0 0 n m 程度のホトレジスト膜 4 d を下層から順に回転塗布法等によって堆積する。ホトレジスト膜 4 d は、情報蓄積用容量素子の下部電極を形成するためのキャパシタ孔形成用のマスク膜であり、キャパシタ孔形成領域が露出され、それ以外が覆われるように、上記堆積処理後に通常の露光処理によってパターニングされている。図 3 3 は、この段階の半導体ウエハ 2 の要部平面図を示している。図 3 3 では、図面を見易くするため、ホトレジスト膜 4 d に相対的に濃い網掛けのハッチングを付し、反射防止膜 9 c に相対的に薄い網掛けのハッチングを付す。図 3 3 において、キャパシタ孔形成用の開口部における長手方向の寸法 D 1 1 は、例えば 4 5 0 n m 程度、その幅方向の寸法 D 1 2 は、例えば 1 6 0 n m 程度、隣接するキャパシタ孔形成用の開口部の隣接寸法 D 1 3 , D 1 4 は、例えば 1 6 0 n m 程度である。

【 0 1 7 7 】

続いて、図 3 4 および図 3 5 に示すように、上記したホトレジスト膜 4 d をマスクとして反射防止膜 9 c をエッチング除去する。この際のエッチング条件は、例えば次の通りである。すなわち、エッチング装置は、例えば上記反射防止膜 9

bのエッチング処理時に使用したのと同じエッチング装置を用いた。処理圧力、電極温度、電極間隔およびエッチング時間は、例えば上記反射防止膜9bのエッチング処理時の条件と同じである。

#### 【0178】

その後、ホトレジスト膜4dをエッチングマスクとして、そこから露出するドーフトポリシリコン膜をエッチング除去することにより、図36および図37に示すように、ハードマスク10bをパターン形成する。

#### 【0179】

次いで、ホトレジスト膜4dを図38および図39に示すようにアッシング処理等によって除去する。図40は、この段階の半導体ウエハ2の要部平面図である。図40においては、図面を見易くするためハードマスク10bに網掛けのハッチングを付す。ハードマスク10bには、平面角丸四角形状の複数の開口部が規則的に並んで形成されている。その開口部からは絶縁膜3eが露出されている。この開口部から露出する部分にキャパシタ孔が形成される。

#### 【0180】

続いて、本発明のHARCプロセスを用いて、図41および図42に示すように、ハードマスク10bをエッチングマスクとして、そこから露出する絶縁膜3e部分をエッチング除去する。これにより、キャパシタ孔23を形成する。キャパシタ孔23のアスペクト比は、例えば1.3である（絶縁膜3eの厚さ2000nm／幅160nm）。このエッチング処理後のハードマスク10bは、その上部がエッチング処理前に比べて削られている。そして、ハードマスク10bは、その厚さがキャパシタ孔23に近づくにつれて薄くなるように削られている。図43は、この処理後の半導体ウエハ2の要部平面図を示している。図43においては、図面を見易くするため、ハードマスク10bに濃い網掛けのハッチングを付す。キャパシタ孔23の底面からは、プラグ22上部および絶縁膜20が露出されている。

#### 【0181】

このHARCプロセスの際のエッチング条件は、例えば次の通りである。エッチング装置は、上記図15に示した二周波励起RIE装置1を用いた。エッチン

グ処理時のチャンバ内の処理圧力は、例えば2.66Pa程度、高周波パワーは、例えば上部電極／下部電極＝1800／1500W程度、エッチングガスは、例えば $C_5F_8/O_2/Ar = 24/28/700\text{ cm}^3/\text{min}$ 程度、電極温度は、例えば上部電極／下部電極＝60／20℃程度、電極間隔は、例えば19mm程度である。エッチング時間は、プラズマからの発光のうち、窒化炭素(CN)を観測し、下地の窒化シリコン等からなる絶縁膜20が露出した際の波形の立ち上がりから酸化シリコン膜(絶縁膜3e)のエッチングが終了したジャスト時間としてオーバー・エッチング処理を30%実施した。

## 【0182】

この場合、プラズマ内滞在時間は、例えば2.34ms程度、チャンバ内滞在時間で表すと、例えば157.63ms程度である。 $C_5F_8$ 分圧は、例えば0.09Paである。また、ガス流量比( $O_2/C_5F_8$ )は、例えば1.167である。また、( $C_5F_8+O_2$ )/Arは、例えば0.0743程度である。また、プラズマ密度は、例えば $5 \times 10^{11}/\text{cm}^3$ の前半程度である。

## 【0183】

上記のHARCプロセス条件において、高周波パワーをSACプロセスの場合よりも上げているのは、アスペクト比がSACプロセスの場合よりも高いので、深い穴底でも良好なエッチング処理が行われるように、よりプラズマ密度を高める必要性があったためである。また、 $C_5F_8/O_2$ の流量をSACプロセスの場合よりも上げているのも、アスペクト比がSACプロセスの場合よりも高いので、深い穴底までエッチングガスが良好に供給されるようにするためである。さらに、電極間隔を短くしているのは、半導体ウエハ2の主面内におけるエッチングの均一性を向上させるためである。

## 【0184】

このようなエッチングの終了後、ポリシリコン膜に対する酸化シリコン膜の選択比を算出した。ここで選択比は、図44に例示するようにエッチングされた場合に、(酸化シリコン膜(酸化膜3e)のエッチングレート)／(ポリシリコン膜(ハードマスク10b)の肩部のエッチングレート)である。ポリシリコン膜(ハードマスク10b)の肩部のエッチングレートは、図44に示す削れが最大

の部分の寸法D 1 5を基にして算出した。その結果、アスペクト比が1 3のキャパシタ孔2 3をテーパ角が8 9°で開口し、比較例の上記選択比が8であったのに対して、本実施の形態の上記選択比は1 1であった。この結果から低圧力、エッチングガスの大流量化により、開口性を確保したまま、選択比を向上させることができた。したがって、DRAMの歩留まりおよび信頼性を向上させることが可能となる。また、キャパシタ孔2 3の微細化およびそれによる高集積化を推進できるので、DRAMの性能向上を推進させることが可能となる。

## 【0 1 8 5】

図4 5および図4 6は、キャパシタ孔2 3内に、情報蓄積用容量素子2 4を形成した際の断面図を示している。情報蓄積用容量素子2 4は、下部電極2 4 aと、その表面に形成された容量絶縁膜2 4 bと、プレート電極2 4 cとを有している。下部電極2 4 aは、例えばドーフトポリシリコン膜からなり、プラグ2 2 a、1 6 bを通じてメモリセル選択M I S Q sの一方のn型半導体領域1 2 b、n<sup>+</sup>型半導体領域1 2 cと電氣的に接続されている。容量絶縁膜2 4 bは、例えば窒化シリコン膜、窒化シリコン膜と酸化シリコン膜との積層膜あるいは酸化タンタル(T a O<sub>5</sub>)等からなる。プレート電極2 4 cは、チタンナイトライド等のような金属膜からなる。

## 【0 1 8 6】

ところで、以上の本実施の形態におけるS A CおよびH A R Cプロセスの各種エッチング条件は、本発明者らが行ったものの中で最も良好な条件の組合せの一例である。上記各種条件は、一方の値を変えると他方の値も変わるというように互いに密接な関係にあるものであり、上記のものに限定されるものではなく種々変更可能である。

## 【0 1 8 7】

そこで、上記S A CおよびH A R Cプロセスの各種エッチング条件について、本発明者らの検討結果について説明する。まず、滞在時間について説明する。プラズマ内滞在時間は、例えば1 ~ 1 0 m s程度（チャンバ内滞在時間にすると、例えば5 0 ~ 7 0 0 m s程度）、または、プラズマ内滞在時間は、例えば1 ~ 5 m s程度（チャンバ内滞在時間にすると、例えば5 0 ~ 3 5 0 n m程度）、好ま

しくは、プラズマ内滞在時間は、例えば2～4 ms 程度（チャンバ内滞在時間にすると、例えば100～200 ms 程度）である。

## 【0188】

次に、エッチング処理時の圧力について説明する。エッチング処理に際して、イオン、電子およびガス原子の平均自由工程（他の原子と1回衝突してから次に衝突するまでに移動可能な距離）は処理圧力によって変化する。衝突が多いほど、軌道はランダムになる。高アスペクト比のコンタクトホールを加工する際には、イオンが半導体ウエハの主面に対して垂直に入射することが要求される。そのためには、イオンの平均自由工程が長く、衝突による散乱がないことが必要となり、低圧力での処理が望ましい。しかし、圧力が低すぎると、衝突が少ないために電子が拡散によってプラズマから逃げてしまうために、電子密度（プラズマ密度）が低くなってしまう。その結果、プラズマを維持し難くなるとともに、ガス分子の解離の減少およびエッチングの進行に要するエネルギーを供給するイオンの減少が生じ、酸化膜のエッチングレートが低下してしまう。また、イオンの平均自由工程が長くなることでイオンの有するエネルギーが高くなりすぎるため、エッチングマスク（主としてホトレジスト膜）や窒化シリコン膜との選択比が低下してしまう。一方、圧力が高すぎる場合には、前述したように、イオンの入射方向が一様でなくなるために、高アスペクト比のコンタクトホールの孔底までイオンが到達できずエネルギーを供給できないためにエッチングがストップしたり、加工形状が劣化してしまう。以上のことから、上記の滞在時間を実現するには、エッチング処理時の処理圧力を、例えば0.7～7 Pa 程度、好ましくは、例えば1.3～4 Pa 程度とすることが望ましい。

## 【0189】

次に、ガス流量について説明する。希釈ガスの量によってガス分子の解離、解離により生成されたエッチャントおよび反応生成物のプラズマ中での滞在時間が制御される。アルゴンガス流量が少なすぎる場合には、滞在時間が長くなりすぎてしまい、過剰な解離と過剰なエッチャント（ $C_xF_y$ ）の供給が発生し、酸化膜上に過剰な堆積物が生成される結果、エッチングが進行し難くなり、エッチングがストップする場合もある。一方、アルゴンガスが多すぎる場合は、滞在時間が



短くなりすぎてしまい、解離不足とエッチャント供給不足が生じ、酸化膜上ではエッチャント供給不足によるエッチングレートの低下、窒化シリコン膜上では堆積物の不足によるエッチングレートの増加（選択性が損なわれる）が生じてしまう。以上のことから、上記の滞在時間を実現するには、アルゴンガス（希釈ガス）の流量を、例えば  $200 \sim 1000 \text{ cm}^3/\text{min}$  程度、好ましくは、例えば  $400 \sim 800 \text{ cm}^3/\text{min}$  程度とすることが望ましい。エッチングガスが大流量であるという場合、特に、エッチングガス流量の大部分は希釈ガス（例えばアルゴンガス）であることから大流量をエッチングガス中における希釈ガスの流量で表現することもできる。

## 【0190】

次に、 $\text{C}_5\text{F}_8$  分圧について説明する。 $\text{C}_5\text{F}_8$  分圧が低すぎる場合、 $\text{C}_5\text{F}_8$  の解離による  $\text{C}_x\text{F}_y$ （主として  $\text{CF}_2$ ）の生成量が不足するため、反応モデル（図 11（a）参照）に示した領域 I のように、酸化膜（ $\text{SiO}_2$ ）3 上ではエッチャントの供給量不足となりエッチングレートが低く、窒化シリコン膜 8 上では体積膜が薄いためにエッチングレートが高くなる。その結果、窒化シリコン選択比が低くなってしまう。一方、 $\text{C}_5\text{F}_8$  分圧が高すぎる場合、 $\text{C}_5\text{F}_8$  の解離による  $\text{C}_x\text{F}_y$  の生成量が過剰となり、反応モデルにおける領域 III（図 11（c）参照）のように酸化膜 3 上にも堆積膜が厚くなってしまい、イオンが透過できなくなるためにエッチングレートが低下してしまう。その結果、窒化シリコン選択比が低下してしまう。以上のことを考慮すると、 $\text{C}_5\text{F}_8$  分圧は、例えば  $0.02 \sim 0.2 \text{ Pa}$  程度（上記 SAC プロセスで好ましい範囲）、または、例えば  $0.04 \sim 0.1 \text{ Pa}$  程度、あるいは、例えば  $0.04 \sim 0.08 \text{ Pa}$  程度にすることが好ましい。

## 【0191】

次に、ガス流量比（ $\text{O}_2/\text{C}_5\text{F}_8$ ）について説明する。エッチングガス中の酸素（ $\text{O}_2$ ）は、被エッチング膜表面上の堆積膜の生成を抑制する機能を有している。そのため、酸化膜（ $\text{SiO}_2$ ）の開口性の向上、孔の垂直形状の実現に寄与するが、窒化シリコン膜上においても、エッチングを抑制する堆積膜を除去してしまうので、窒化シリコン選択比の低下につながる。このガス流量比が小さすぎ

る ( $O_2$  ガス流量が相対的に少ない) 場合、堆積膜の生成の抑制の効果が少なくなり、酸化膜上でも堆積膜が厚くなり、エッチングが進行しなくなる。また、孔の側壁の堆積膜も除去され難くなるため、形状が劣化する。一方、上記ガス流量比が大きすぎる場合、窒化シリコン膜上の堆積膜が薄くなってしまい窒化シリコン膜のエッチングが進行する。その結果、窒化シリコン選択比が低下する。以上のことを考慮するからガス流量比 ( $O_2/C_5F_8$ ) は、例えば他の条件要素を工夫することで 0.5~2、または、例えば 0.8~1.5 (上記 SAC および HARC プロセスの両方を含む範囲)、好ましくは、例えば 1~1.2 とすることが望ましい。

## 【0192】

次に、プラズマ密度について説明する。プラズマ密度が低すぎる場合、エッチングガスの解離によるエッチャント ( $C_xF_y$ ) の生成量が不足し、また、エッチャントと被エッチング膜 (酸化膜 ( $SiO_2$ )) の反応に要するエネルギーを供給するイオンの供給量が不足する。その結果、被エッチング膜 (酸化膜 ( $SiO_2$ )) のエッチングレートが低くなり、エッチングがストップすることもある。一方、プラズマ密度が高すぎる場合、エッチングガスが過剰解離してしまい、被エッチング膜 (酸化膜 ( $SiO_2$ )) 上の堆積膜が厚くなりすぎるため、エッチングが進行しなくなる。

## 【0193】

エッチングガスが解離してエッチャントとなるためには、 $C_xF_y$  のように炭素 (C) とフッ素 (F) とが結合した分子であることが必要である。解離が進行しすぎると、炭素、フッ素単体になってしまい、単体では、酸化膜 ( $SiO_2$ ) のエッチングは進行しない。例:  $SiO_2 + 2CF_2 \rightarrow SiF_4 + 2CO$

以上のことを考慮すると、プラズマ密度は、例えば  $10^{10} \sim 10^{13} / cm^3$  程度、また、好ましくは、例えば  $10^{10} \sim 10^{12} / cm^3$  程度、あるいは、 $5 \times 10^{10} \sim 5 \times 10^{11} / cm^3$  程度とすることが望ましい。

## 【0194】

次に、エッチング装置の電極間隔について説明する。この電極間隔は、上記プラズマ密度を制御する機能を有している。例えば電極間隔が 40 mm 以上となる

と、プラズマ密度およびプラズマの均一性が低下する。そこで、上記したプラズマ密度を考慮すると、上記電極間隔は、例えば17～30mm程度がプラズマ密度および均一性の面から好ましい。

#### 【0195】

次に、エッチング処理中における半導体ウエハ2の温度について説明する。半導体ウエハ2の温度が高いほど、 $C_5F_8$ が解離して生成された $C_xF_y$ の吸着確率が低下し、孔上部で吸着せず、孔の底部にまで輸送される。そのため、SACプロセスにおいては、孔（コンタクトホール14a, 14b）の底部の窒化シリコン膜（絶縁膜8c）上の堆積膜が厚くなり、その窒化シリコン膜のエッチングが進行しなくなるため、選択比が向上する。一方で、孔底部の酸化膜（ $SiO_2$ ）上においても、半導体ウエハ2の温度の上昇に伴い、堆積膜となる $C_xF_y$ の供給量が増加する。そのため、半導体ウエハ2の温度が高すぎると、酸化膜（ $SiO_2$ ）上の堆積膜が厚くなりすぎてしまい、エッチングレートが低下し、窒化シリコン選択比の低下、場合によってはエッチングがストップする。また、半導体ウエハ2の温度が高すぎると、ホトレジストマスクが融解する恐れがあり、その場合、ホトレジスト膜のパターン形状の崩れ、ホトレジスト膜の焼き付きという不具合が生じる。また、半導体ウエハ2の温度が低すぎると、窒化シリコン選択比が下がってしまう。

#### 【0196】

以上のことを考慮すると、エッチング処理中の半導体ウエハ2の温度は、例えば30～180℃、または、例えば60～140℃、あるいは好ましくは、例えば100～130℃である。

#### 【0197】

次に、エッチングガスについて説明する。フロロカーボン系のガスは、飽和型と不飽和型に分類できる。飽和型は、炭素（C）原子が全て単結合のものであり、エッチングガスとして、例えば $CF_4$ 、 $CHF_3$ 、 $CH_2F_2$ 、 $CH_3F$ 、 $C_2F_6$ 、 $C_3F_8$ 、 $C_4F_8$ を用いることができる。また、不飽和型は、炭素（C）原子が二重もしくは三重結合を有するものであり、エッチングガスとして、例えば $C_5F_8$ または $C_4F_6$ を用いることができる。

## 【0198】

上記本実施の形態において、主反応ガスとして $C_5F_8$ を採用したのは、例えば次の理由からである。まず、炭素の数が多いほど、堆積物( $C_xF_y$ )のデポ性を良好にでき、窒化シリコン選択比を向上させることができるからである。また、その窒化シリコン選択比と孔の垂直形状(孔の側壁の保護性を堆積膜( $C_xF_y$ )により向上できる)とを向上させることができ、エッチング反応と堆積反応とのバランスが良い。また、ホトレジスト膜上に堆積膜( $C_xF_y$ )が被着することでホトレジスト膜の保護性を向上させることができるので、孔の加工形状および加工寸法を向上させることができるからである。さらに、 $C_5F_8$ ガスは地球温暖化ポテンシャル(GWP)(90~100)、大気中での寿命(1年)が、 $CF_4$ (GWP:6500, 寿命:50000年)、 $C_4F_8$ (GWP:870, 寿命:3200年)等と比べて極めて低い。しかも、可燃性、爆発性、毒性の面でも特に問題とはならない。ただし、 $C_5F_8$ 単独で用いずに、上記した $CF_4$ 、 $CHF_3$ 、 $CH_2F_2$ 、 $C_4F_8$ を添加しても良い。すなわち、フッ素(F)を有するガスを添加することで、上記した堆積物( $C_xF_y$ )を除去し、デポ性を抑えることが可能となる。

## 【0199】

また、希釈ガスは、プラズマ中で電離してイオンとなりエッチャントと被エッチング膜の反応を促進させることに加えて、エッチングガス中の反応ガス濃度を希釈して過剰なエッチングおよび堆積反応が生じないようにする機能を有している。希釈ガスとしてアルゴンガスを使用したのは、不活性ガスであるため化学反応によって他のガスとの反応生成物を生じないためである。また、アルゴンガスにヘリウムガス等を添加することで反応を制御することも可能である。また、アルゴンガスに代えてヘリウムガス等の不活性ガスを用いることもできる。

## 【0200】

このように本実施の形態によれば、例えば以下の効果が得られる。

(1) . 低圧力、アルゴンガス流量を大流量( $>800\text{ cm}^3/\text{min}$ )にした滞在時間が短い領域において酸化膜のエッチング処理を施すことにより、開口性(例えばマイクロ・ローディング効果98%)、テーパ角(例えば $89^\circ$ )および高窒化シリコン選択比を同時に実現できることが可能となる。

(2) . S A C プロセスにおいて、上記のエッチング条件を基に、エッチング処理中における半導体ウエハ 2 の温度を上昇させることにより、アスペクト比（例えば 1 3）の開口性と、高窒化シリコン選択比（例えば 1 6 . 1）を実現することが可能となる。

(3) . 上記 (2) により、S A C プロセスにおけるショートマージンを拡大することが可能となる。

(4) . H A R C プロセスにおいて、上記エッチング条件を基に、高周波パワー、電極間隔、 $C_5F_8$  ガス流量および半導体ウエハの温度等の最適化を行うことにより、アスペクト比が例えば 1 7 の開口と、ドーフトポリシリコン選択比（例えば 1 1）およびびテーパ角（例えば  $89^\circ$ ）を実現することが可能となる。

(5) . 上記 (1)、(2)、(3) または (4) により、D R A M の歩留まりを向上させることが可能となる。

(6) . 上記 (1)、(2)、(3) または (4) により、D R A M の信頼性を向上させることが可能となる。

(7) . 上記 (1)、(2)、(3) または (4) により、D R A M の量産性を向上させることが可能となる。

(8) . 上記 (1)、(2)、(3) または (4) により、D R A M の性能を向上させることが可能となる。

(9) . 上記 (1)、(2)、(3) または (4) により、D R A M の容量を向上させることが可能となる。

#### 【 0 2 0 1 】

以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

#### 【 0 2 0 2 】

また、以上の説明では主として本発明者によってなされた発明をその背景となった利用分野である D R A M に適用した場合について説明したが、それに限定されるものではなく、例えば S R A M (Static Random Access Memory) またはフラッシュメモリ (E E P R O M ; Electric Erasable Programmable Read Only M

emory) 等のようなメモリ回路を有する半導体集積回路装置の製造方法、C M I S (Complementary MIS: 相補型電界効果トランジスタ) 回路を有する半導体集積回路装置の製造方法またはマイクロプロセッサ等のような論理回路を有する半導体集積回路装置の製造方法、あるいはメモリ回路と論理回路とを同一半導体基板に設けている混載型の半導体集積回路装置の製造方法にも適用できる。

【 0 2 0 3 】

【発明の効果】

本願によって開示される発明のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば、以下の通りである。

(1). 本発明によれば、半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記半導体基板上の酸化シリコン系の絶縁膜を加工する際に、低圧化およびエッチングガスの大流量化によりエッチングガスのエッチング処理室内滞在時間を、窒化シリコン系の絶縁膜に対する選択性が向上する領域に設定した状態でエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜の開口性および窒化膜に対する選択性を向上させることが可能となる。

(2). 本発明によれば、半導体基板に対して、フロロカーボン系のガス、酸素および希釈ガスを有するエッチングガスを用いてプラズマエッチング処理を施すことにより、前記半導体基板上の酸化シリコン系の絶縁膜を、その酸化シリコン系の絶縁膜上に形成されたハードマスクをエッチングマスクとして加工する際に、低圧化およびエッチングガスの大流量化によりエッチングガスのエッチング処理室内滞在時間を、前記ハードマスクに対する選択性が向上する領域に設定した状態でエッチング処理を施すことにより、前記酸化シリコン系の絶縁膜の開口性および窒化膜に対する選択性を向上させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明者らが実験で用いたエッチング装置の説明図である。

【図 2】

本発明者らが実験で用いたマイクロ・ローディングを計測するためのダミー (

試料) の断面図である。

【図 3】

本発明者らが実験で用いた S A C プロセスのためのダミー (試料) の断面図である。

【図 4】

(a) は本発明者らが実験で用いた H A R C プロセスのためのダミー (試料) の断面図、(b) は (a) に垂直な面の断面図である。

【図 5】

本発明者らが実験で用いた試料の酸化シリコン膜とゲート電極肩部上の窒化シリコン膜との選択比の算出方法を説明するための試料の要部断面図である。

【図 6】

本発明者らが実験で用いた試料の酸化シリコン膜とポリシリコン膜との選択比の算出方法を説明するため試料の要部断面図である。

【図 7】

本発明者らが行った実験におけるマイクロ・ローディング効果のアルゴンガス流量依存性を示すグラフ図である。

【図 8】

(a), (b) は、本発明者らが行った実験における窒化シリコン膜選択比とテーパ角とのアルゴンガス流量依存性を示すグラフ図である。

【図 9】

(a) は本発明者らが行った実験におけるマイクロ・ローディング効果の滞在時間依存性を示すグラフ図、(b) は本発明者らが行った実験におけるテーパ角の滞在時間依存性を示すグラフ図、(c) は本発明者らが行った実験における窒化シリコン膜選択比の滞在時間依存性を示すグラフ図である。

【図 1 0】

(a) ~ (f) は本発明者らが行った実験における酸化シリコン膜のエッチングレート、肩部の窒化シリコン膜のエッチングレートおよび窒化シリコン膜選択比の滞在時間依存性を示すグラフ図である。

【図 1 1】

(a) ~ (c) は本発明者らによる酸化シリコン膜および窒化シリコン膜のエッチングモデルを示す説明図である。

【図 1 2】

本発明者らが行った実験における窒化シリコン膜選択比およびマイクロ・ローディング効果の半導体ウエハ温度依存性を示すグラフ図である。

【図 1 3】

本発明者らが行った実験によって得られた SAC プロセス条件の一例の説明図である。

【図 1 4】

本発明者らが行った実験によって得られた HARC プロセス条件の一例の説明図である。

【図 1 5】

本発明の一実施の形態である半導体集積回路装置の製造方法で用いたエッチング装置の一例の説明図である。

【図 1 6】

半導体ウエハの平面図である。

【図 1 7】

本発明の一実施の形態である半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 1 8】

図 1 7 と同じ半導体集積回路装置の製造工程中における図 1 7 に垂直な面の要部断面図である。

【図 1 9】

図 1 7 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 2 0】

図 1 9 と同じ半導体集積回路装置の製造工程中における図 1 9 に垂直な面の要部断面図である。

【図 2 1】

図 1 9 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。



【図 2 2】

図 2 1 と同じ半導体集積回路装置の製造工程中における図 2 2 に垂直な面の要部断面図である。

【図 2 3】

図 2 1 の半導体集積回路装置の製造工程中の要部拡大断面図である。

【図 2 4】

図 2 1 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 2 5】

図 2 4 と同じ半導体集積回路装置の製造工程中における図 3 8 に垂直な面の要部断面図である。

【図 2 6】

図 2 4 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 2 7】

図 2 6 と同じ半導体集積回路装置の製造工程中における図 2 6 に垂直な面の要部断面図である。

【図 2 8】

図 2 6 の半導体集積回路装置の製造工程中の要部拡大断面図である。

【図 2 9】

図 2 6 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 3 0】

図 2 9 と同じ半導体集積回路装置の製造工程中における図 2 9 に垂直な面の要部断面図である。

【図 3 1】

図 2 9 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 3 2】

図 3 1 と同じ半導体集積回路装置の製造工程中における図 3 1 に垂直な面の要部断面図である。

【図 3 3】

図 3 1 および図 3 2 の半導体集積回路装置の製造工程中における半導体ウエハ

の要部平面図である。

【図 3 4】

図 3 1 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 3 5】

図 3 4 と同じ半導体集積回路装置の製造工程中における図 3 4 に垂直な面の要部断面図である。

【図 3 6】

図 3 4 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 3 7】

図 3 6 と同じ半導体集積回路装置の製造工程中における図 3 6 に垂直な面の要部断面図である。

【図 3 8】

図 3 6 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 3 9】

図 3 8 と同じ半導体集積回路装置の製造工程中における図 3 8 に垂直な面の要部断面図である。

【図 4 0】

図 3 8 および図 3 9 の半導体集積回路装置の製造工程中における半導体ウエハの要部平面図である。

【図 4 1】

図 3 8 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 4 2】

図 4 1 と同じ半導体集積回路装置の製造工程中における図 4 1 に垂直な面の要部断面図である。

【図 4 3】

図 4 1 および図 4 2 の半導体集積回路装置の製造工程中における半導体ウエハの要部平面図である。

【図 4 4】

図 4 1 の半導体集積回路装置の製造工程中の要部拡大断面図である。

【図 4 5】

図 4 1 に続く半導体集積回路装置の製造工程中の要部断面図である。

【図 4 6】

図 4 5 と同じ半導体集積回路装置の製造工程中における図 4 5 に垂直な面の要部断面図である。

【図 4 7】

滞在時間の説明図である。

【図 4 8】

滞在時間の説明図である。

【符号の説明】

- 1 二周波励起 R I E 装置
  - 1 a チャンバ
  - 1 b サセプタ
  - 1 c 静電チャック
  - 1 d 上部電極
    - 1 d 1 電極板
    - 1 d 2 電極支持体
    - 1 d 3 孔
  - 1 e ガス排気管
  - 1 f 第 1 の高周波電源
  - 1 g 第 2 の高周波電源
- 2 半導体ウエハ
  - 2 a 切り欠き
  - 2 S 半導体基板
- 3, 3 a ~ 3 d 酸化膜
- 3 e 絶縁膜
- 4 a ~ 4 d ホトレジスト膜
- 5 a ゲート絶縁膜
- 5 b ゲート絶縁膜

6 a ゲート電極  
6 b ゲート電極  
7 a キャップ膜  
7 b キャップ絶縁膜  
8, 8 a 窒化シリコン膜  
8 b プラズマ窒化シリコン膜  
9 a ~ 9 c 反射防止膜  
10 マスク形成膜  
10 a, 10 b ハードマスク  
10 a 1 ハードマスク  
11 分離部  
12 a, 12 b n型半導体領域  
12 c  $n^+$ 型半導体領域  
14 a, 14 b コンタクトホール  
15 ポリマー層  
16 a, 16 b プラグ  
17 絶縁膜  
18 絶縁膜  
19 絶縁膜  
20 絶縁膜  
21 スルーホール  
22 a プラグ  
22 a 1 シリサイド膜  
23 キャパシタ孔  
24 a 下部電極  
24 b 容量絶縁膜  
24 c プレート電極  
WL ワード線  
HPF ハイパスフィルタ

L P F   ロ ー パ ス フ ィ ル タ

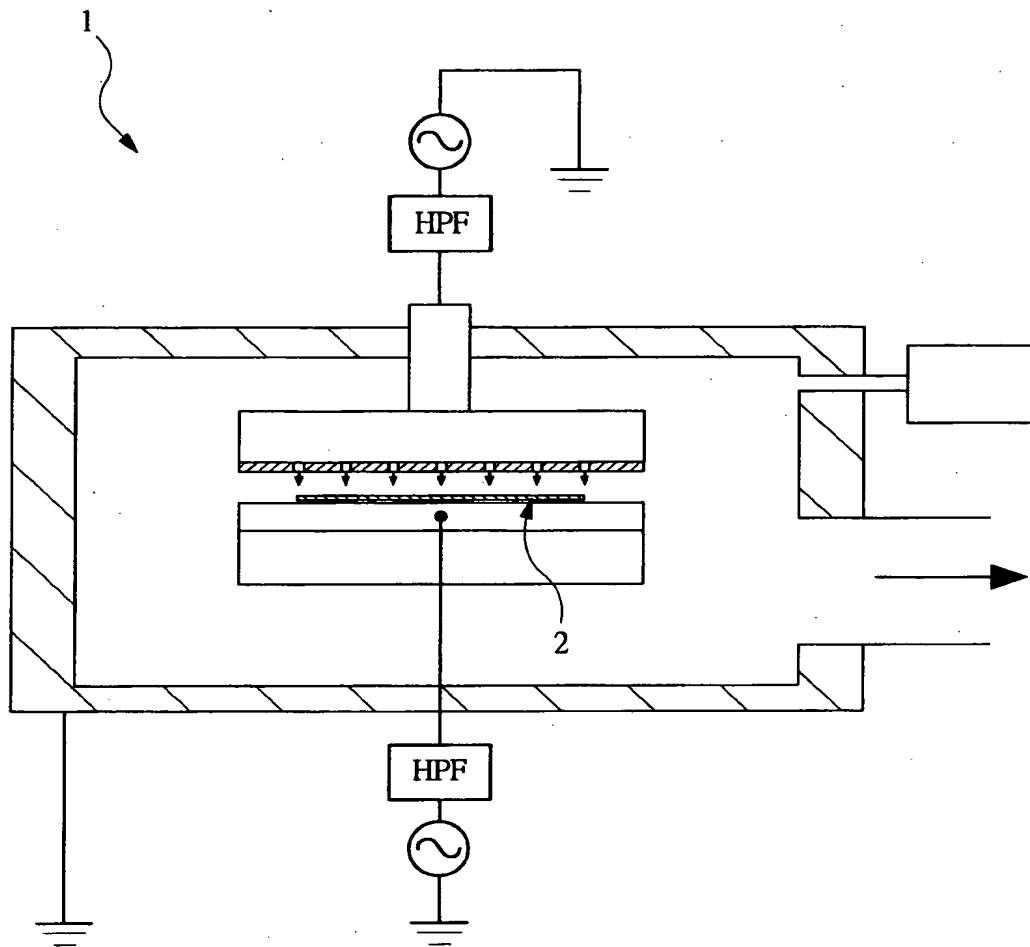
P W   p ウ エ ル

Q s   メ モ リ セ ル 選 択 M I S ・ F E T

【書類名】 図面

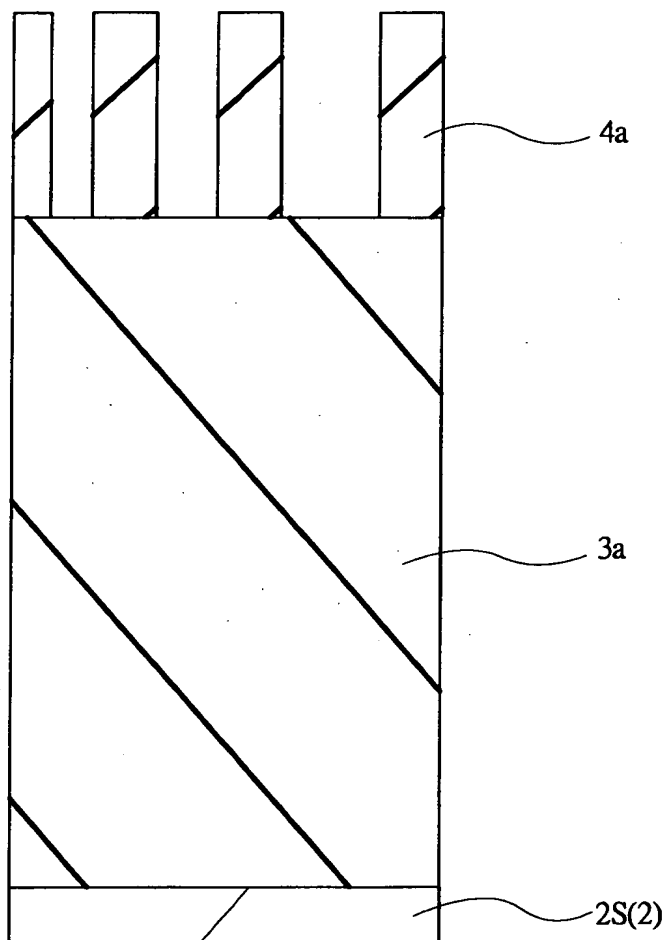
【図 1】

図 1



【図 2】

図 2

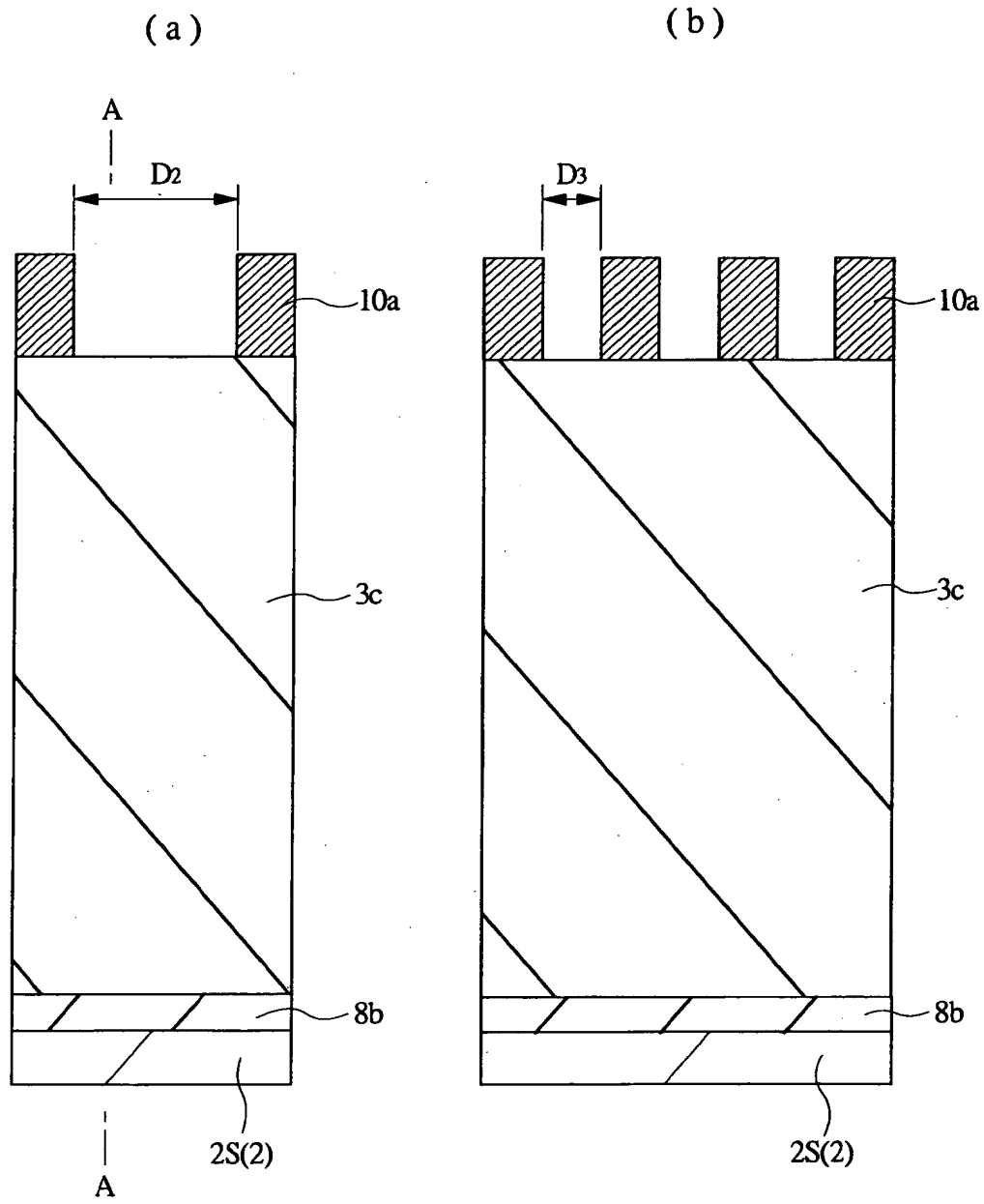




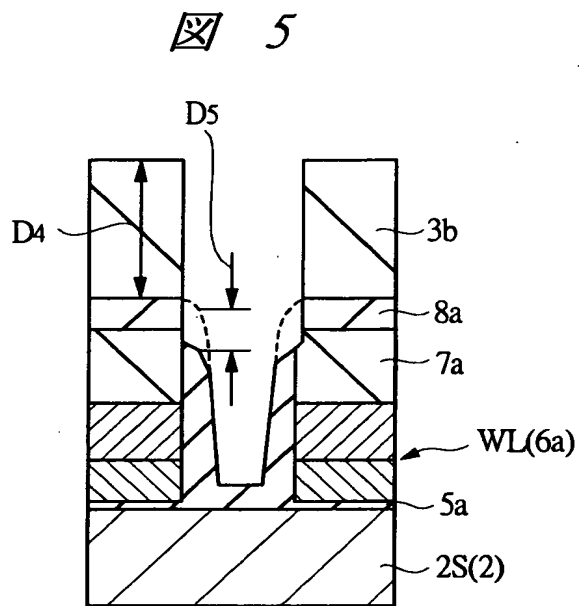


【図 4】

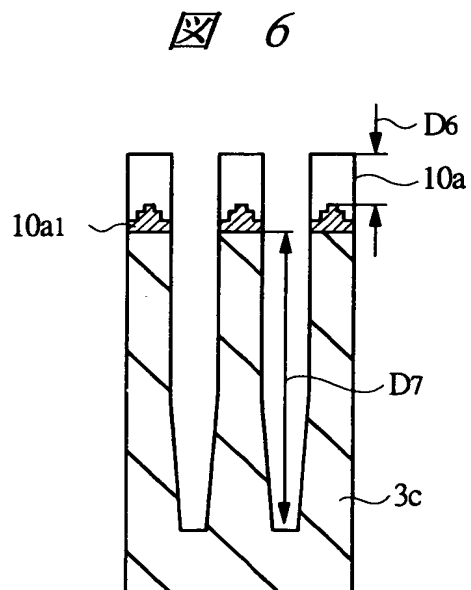
図 4



【図 5】

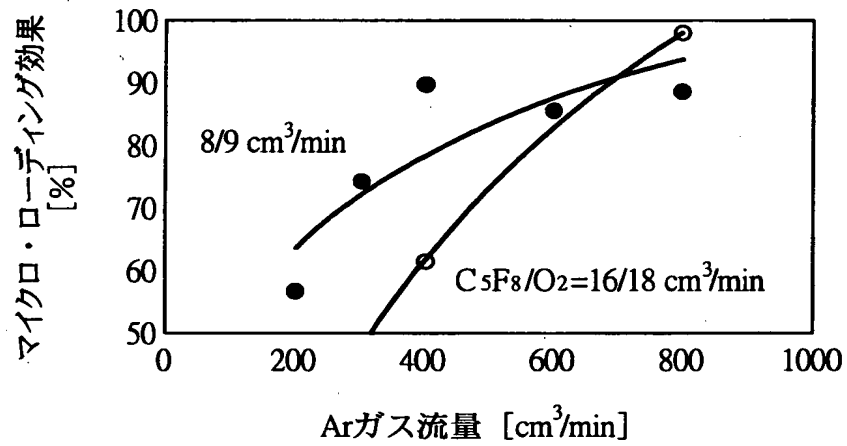


【図 6】



【図 7】

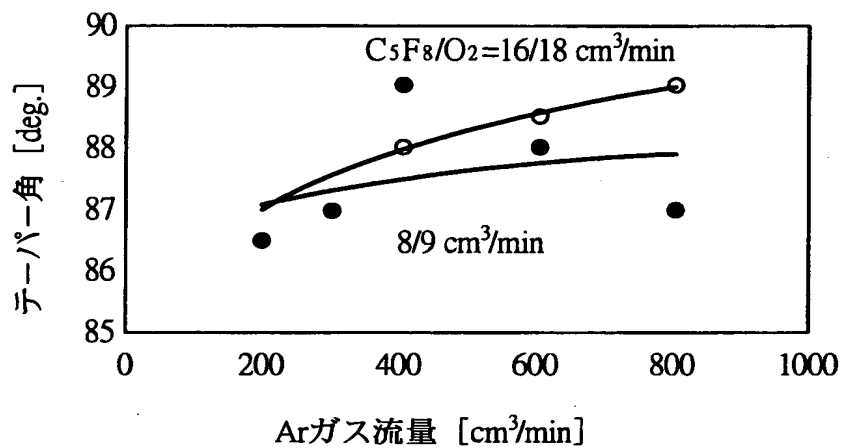
図 7



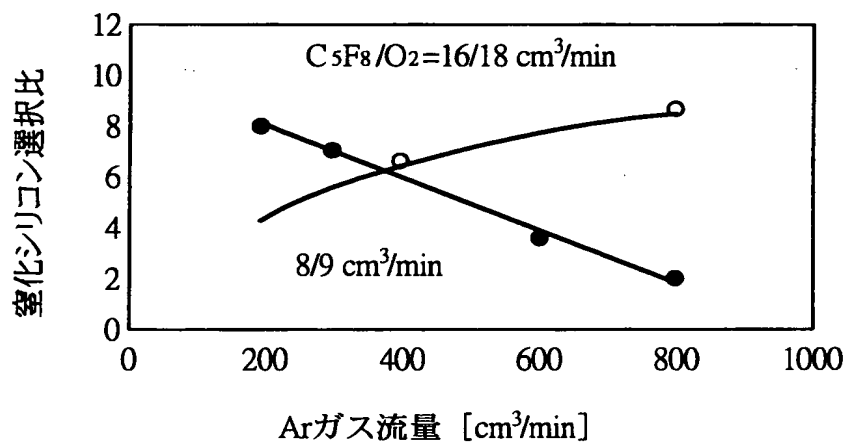
【図 8】

図 8

(a)

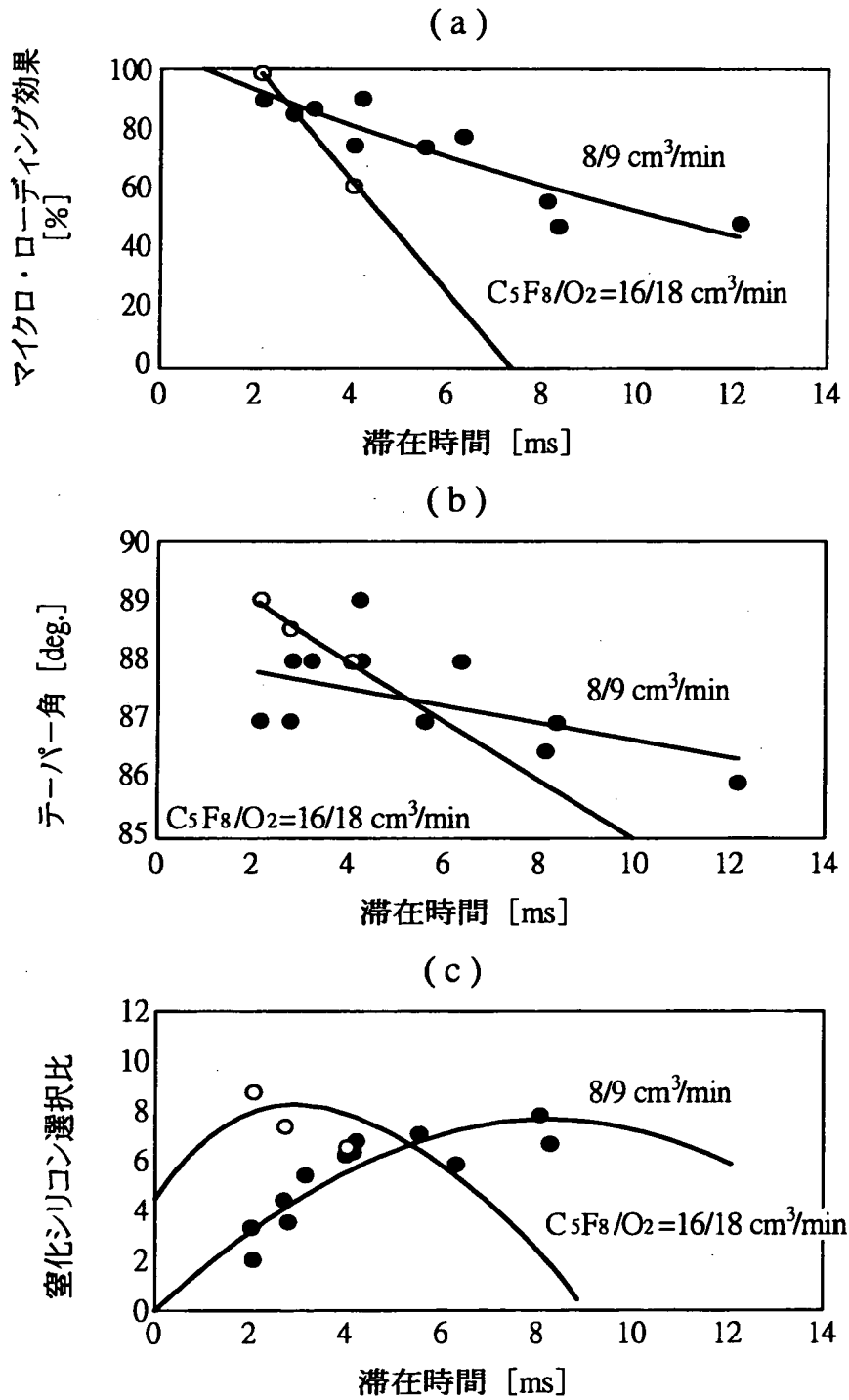


(b)



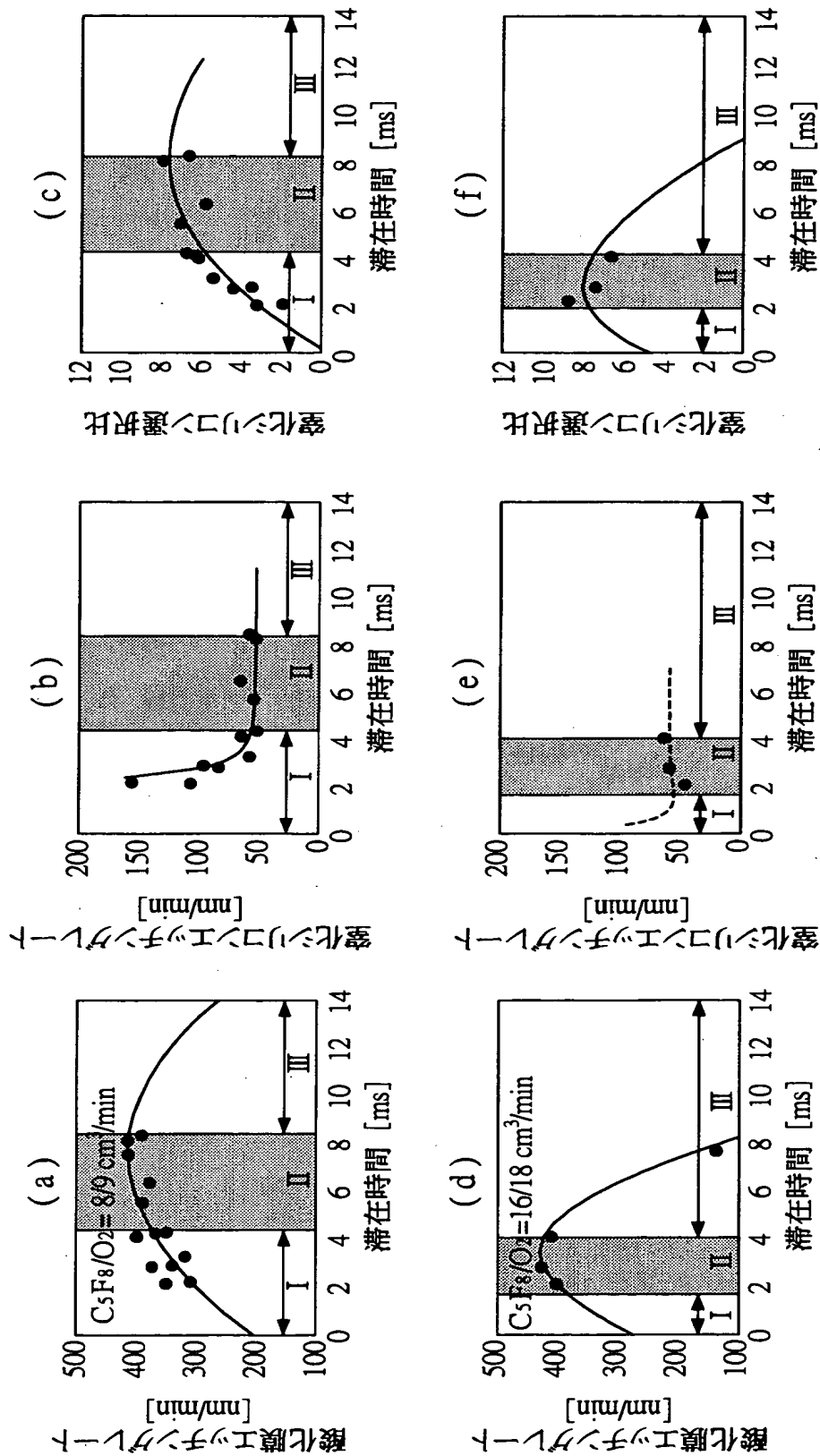
【図 9】

図 9



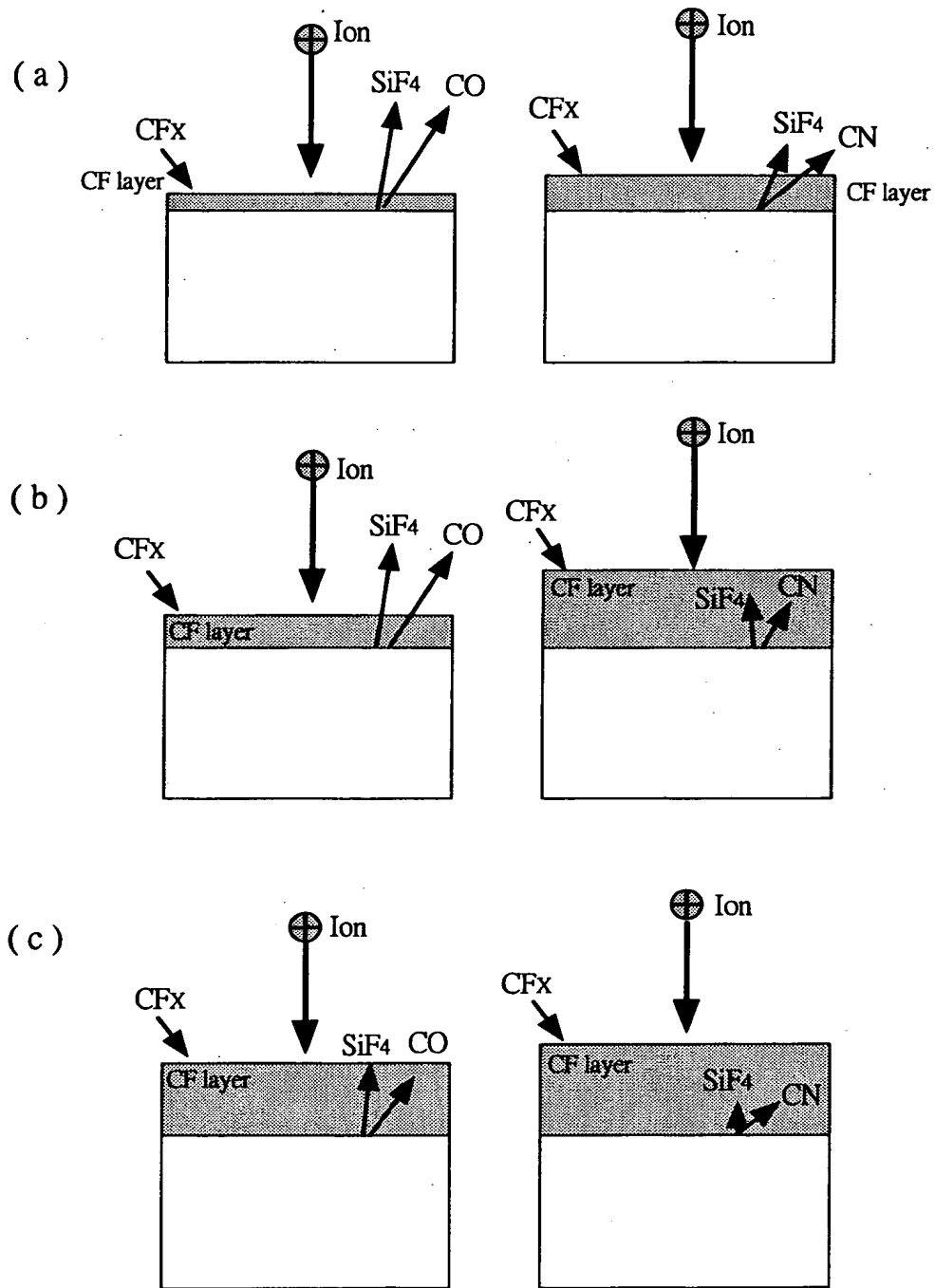
【図10】

図 10



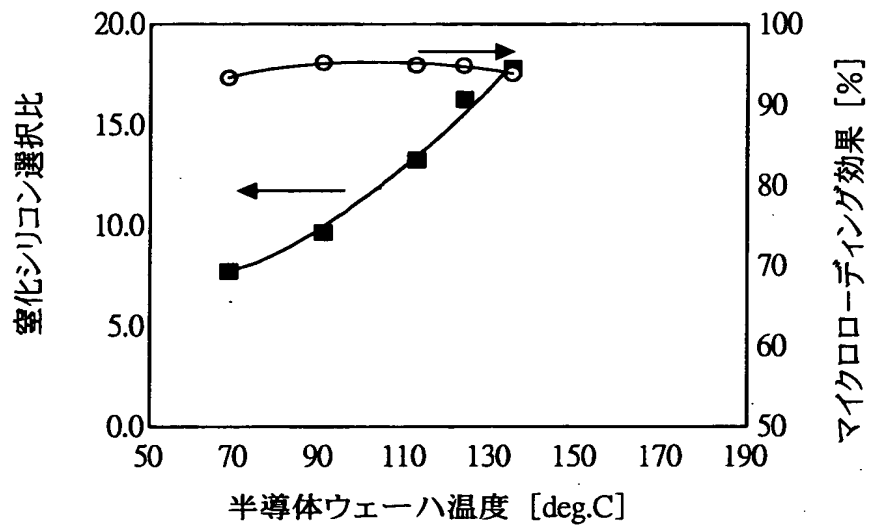
【図 1 1】

図 11



【図 1 2】

図 12





【図 1 3】

図 13

パラメータ			
圧力		[Pa]	2.66
RFパワー	上部	[W]	800
	下部	[W]	700
C <sub>5</sub> F <sub>8</sub> 流量		[cm <sup>3</sup> /min]	16
O <sub>2</sub> 流量		[cm <sup>3</sup> /min]	18
Ar流量		[cm <sup>3</sup> /min]	800
電極温度	上部	[deg. C]	60
	下部	[deg. C]	20
壁面温度		[deg. C]	50
電極間隔		[mm]	21

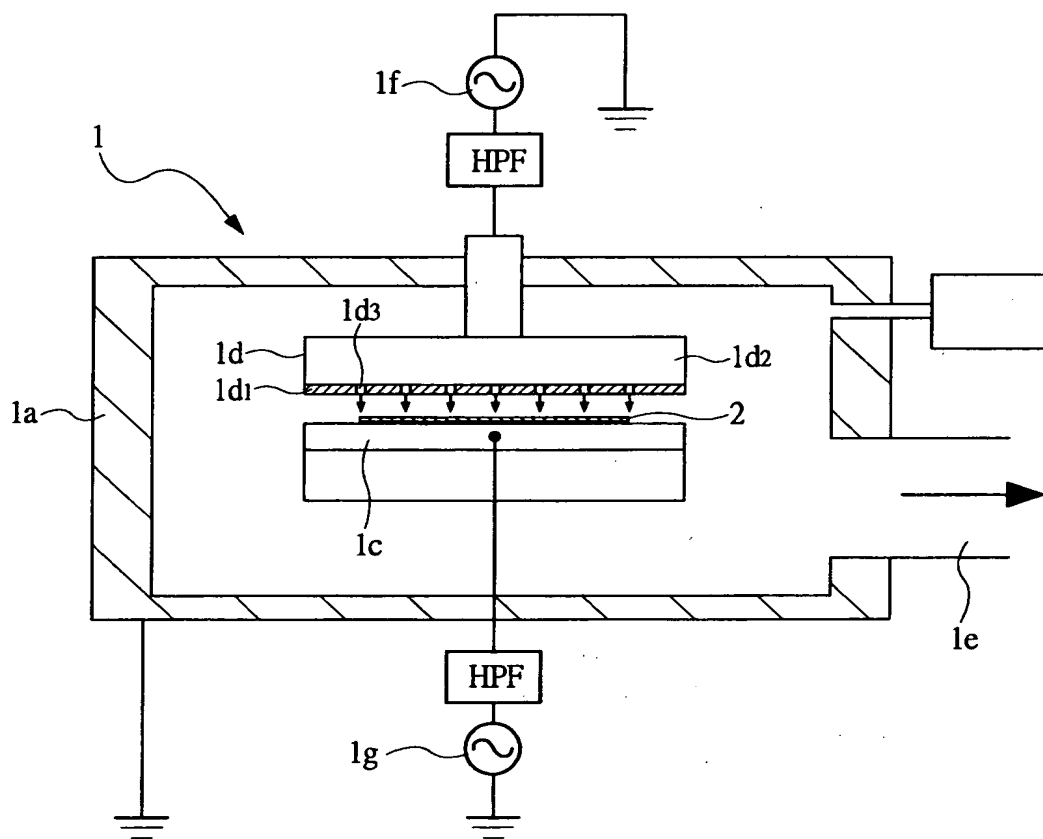
【図 1 4】

図 14

パラメータ			
圧力		[Pa]	2.66
RFパワー	上部	[W]	1800
	下部	[W]	1500
CsF8流量		[cm <sup>3</sup> /min]	24
O <sub>2</sub> 流量		[cm <sup>3</sup> /min]	28
Ar流量		[cm <sup>3</sup> /min]	700
電極温度	上部	[deg. C]	60
	下部	[deg. C]	20
壁面温度		[deg. C]	50
電極間隔		[mm]	19

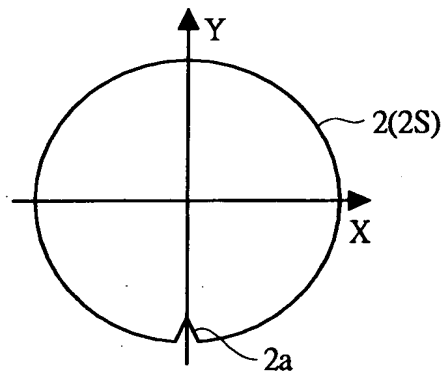
【図 15】

図 15



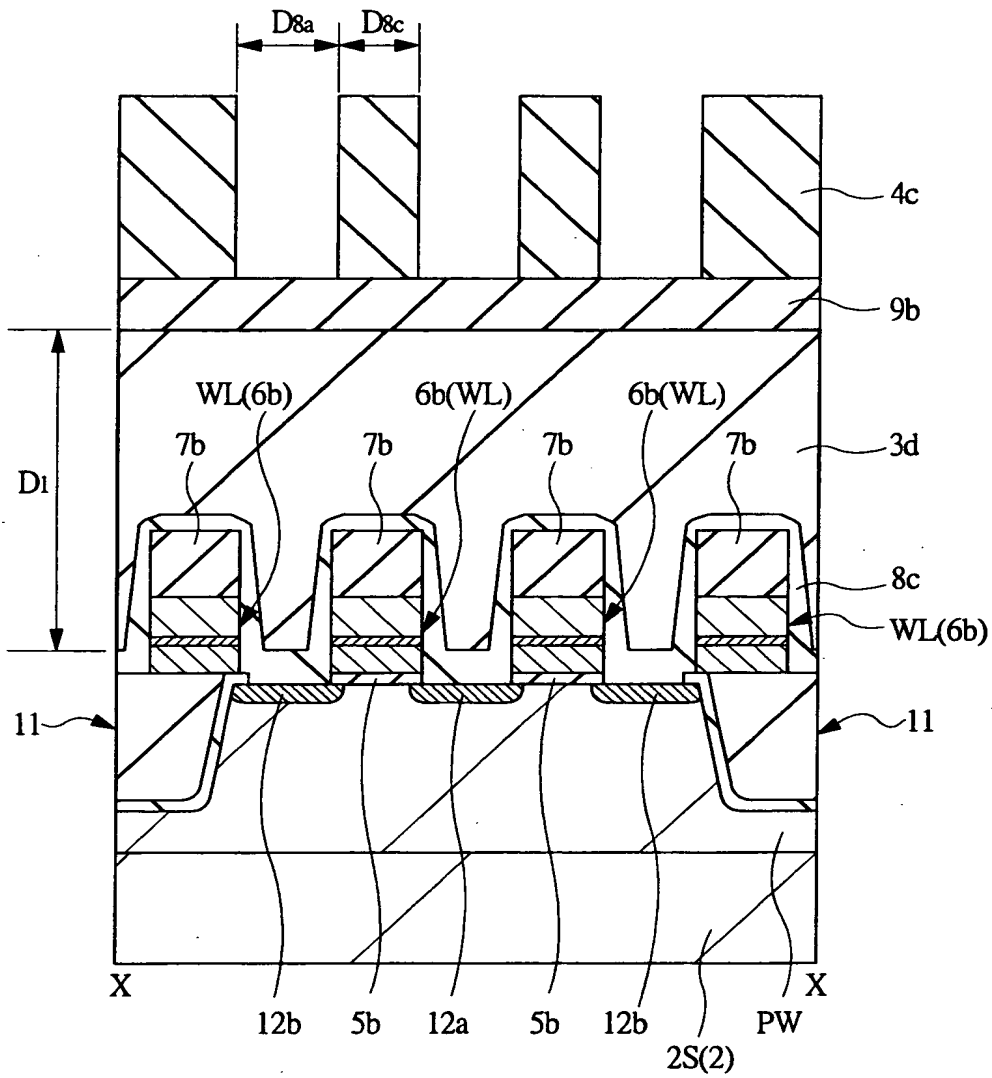
【図 1 6】

図 16



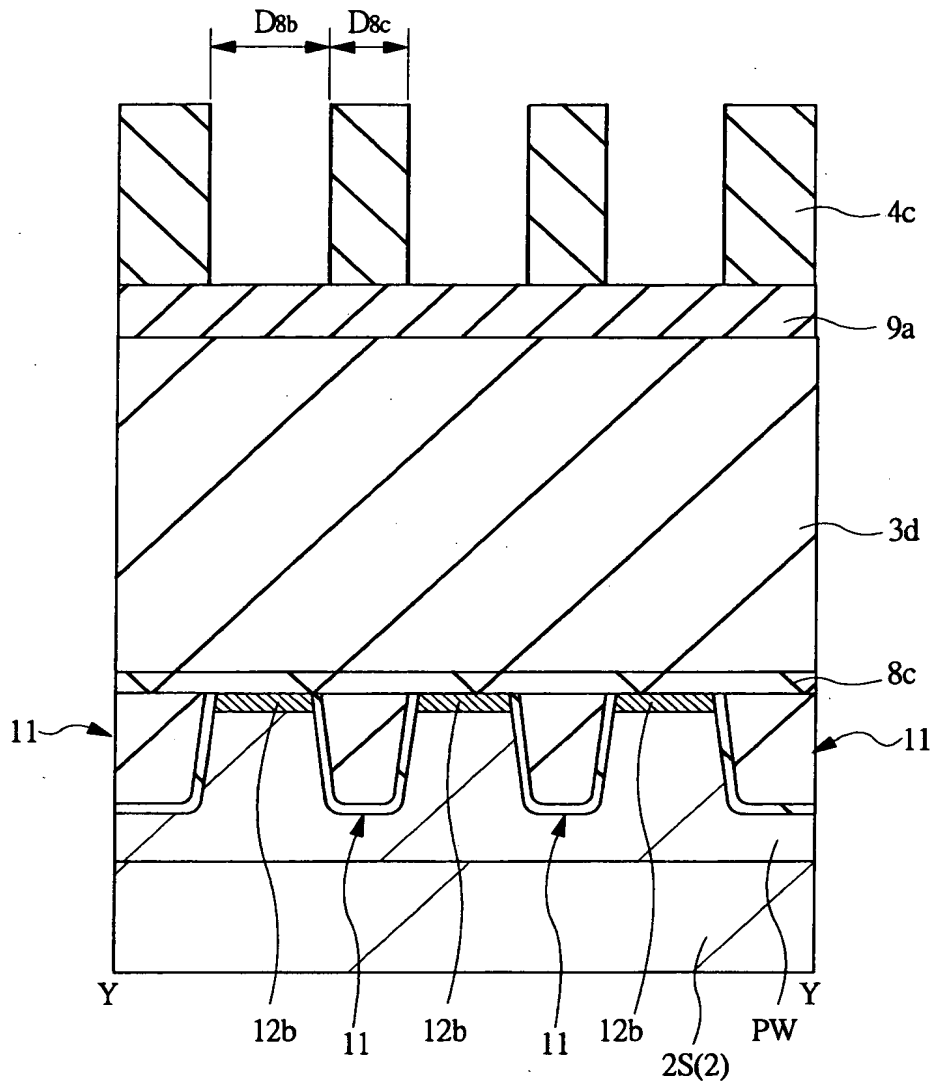
【図 17】

図 17



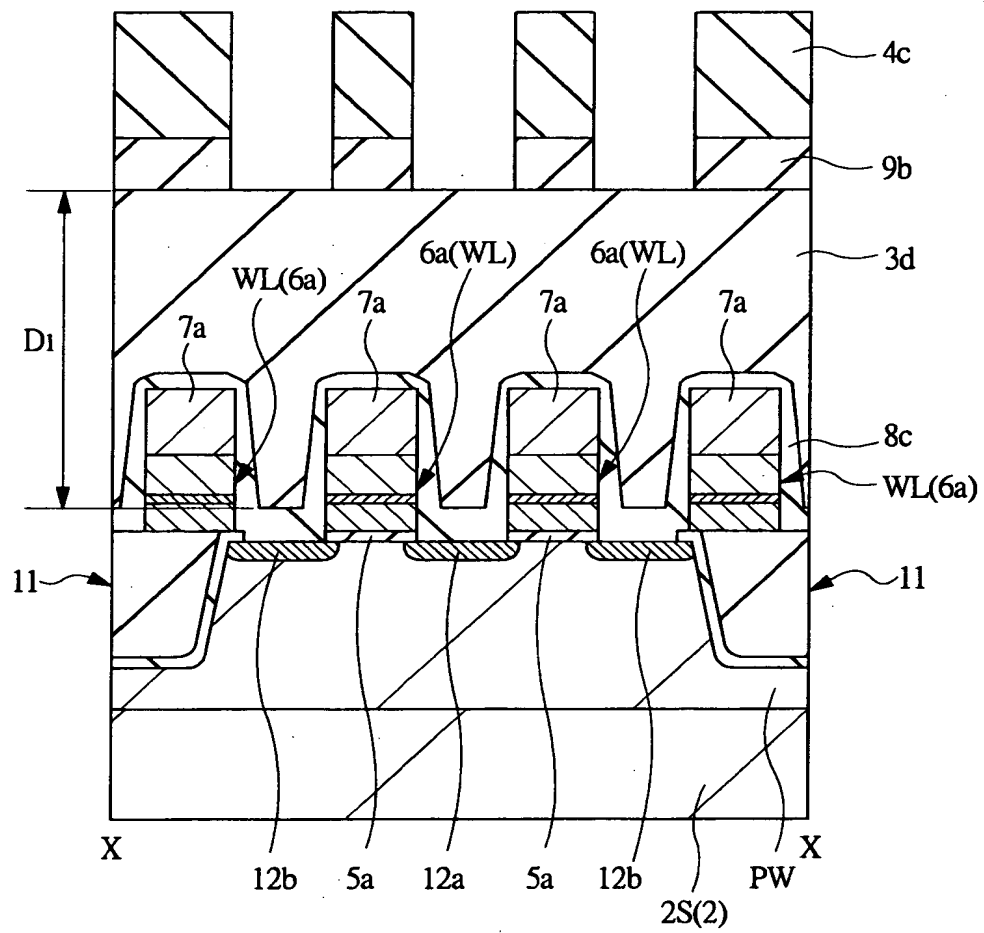
【図 18】

図 18



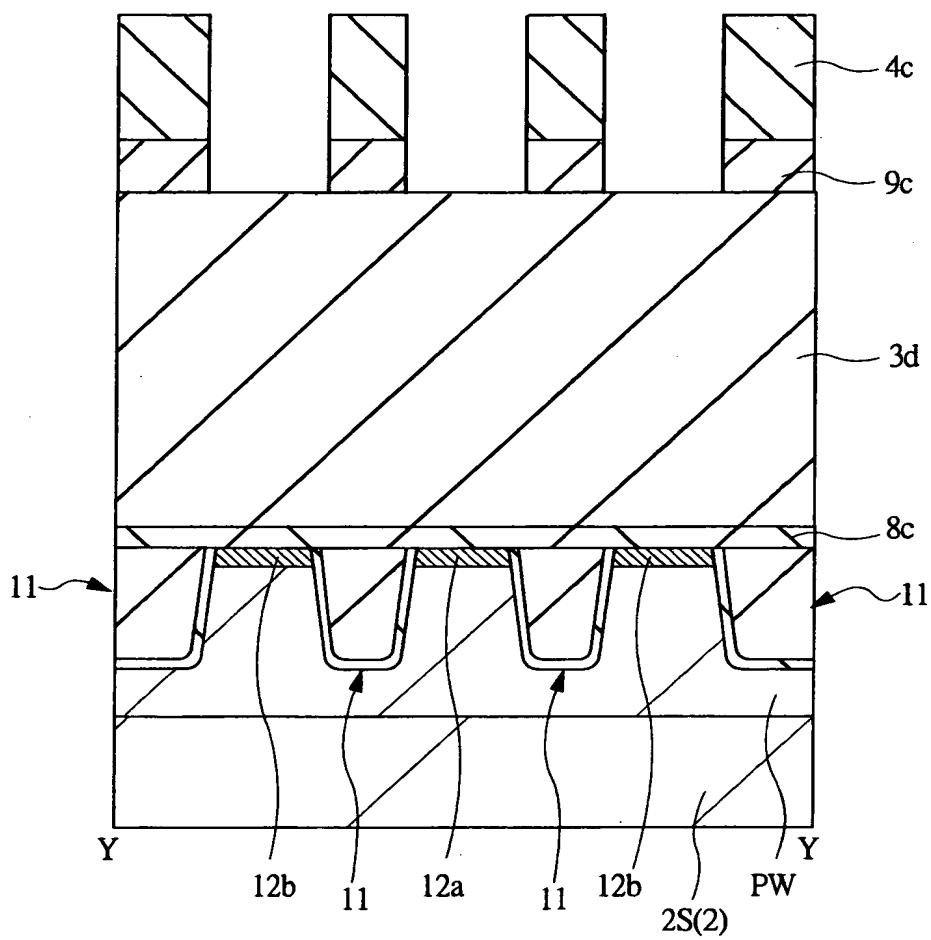
【図 19】

図 19



【図 2 0】

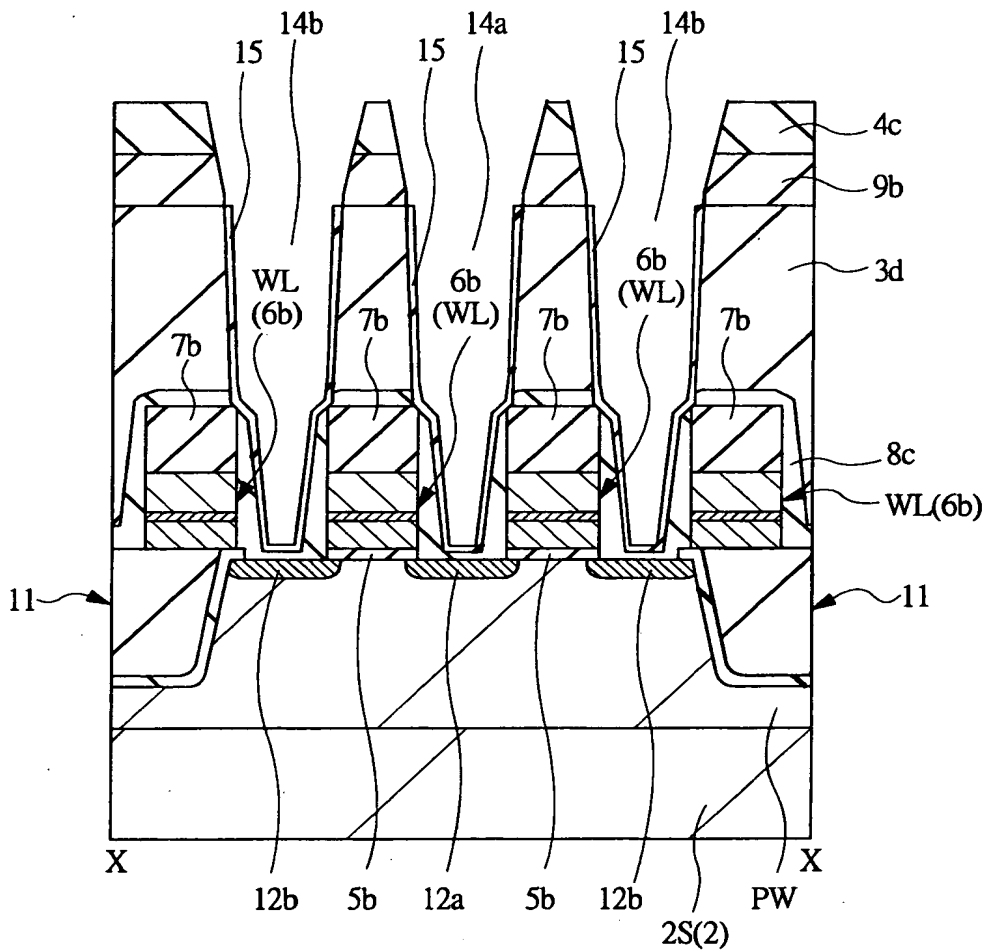
図 20





【図 2 1】

図 21

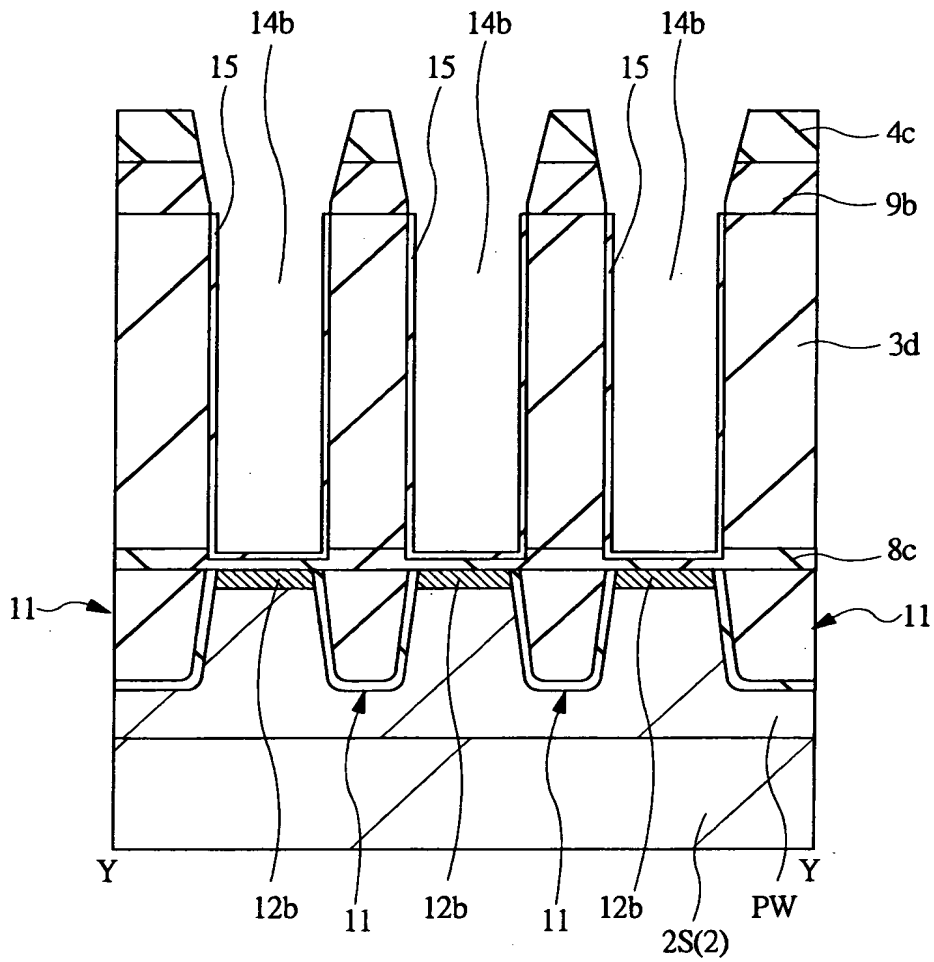


2: 半導体ウエハ  
2S: 半導体基板  
3d: 酸化膜  
6b: ゲート電極(電極配線)

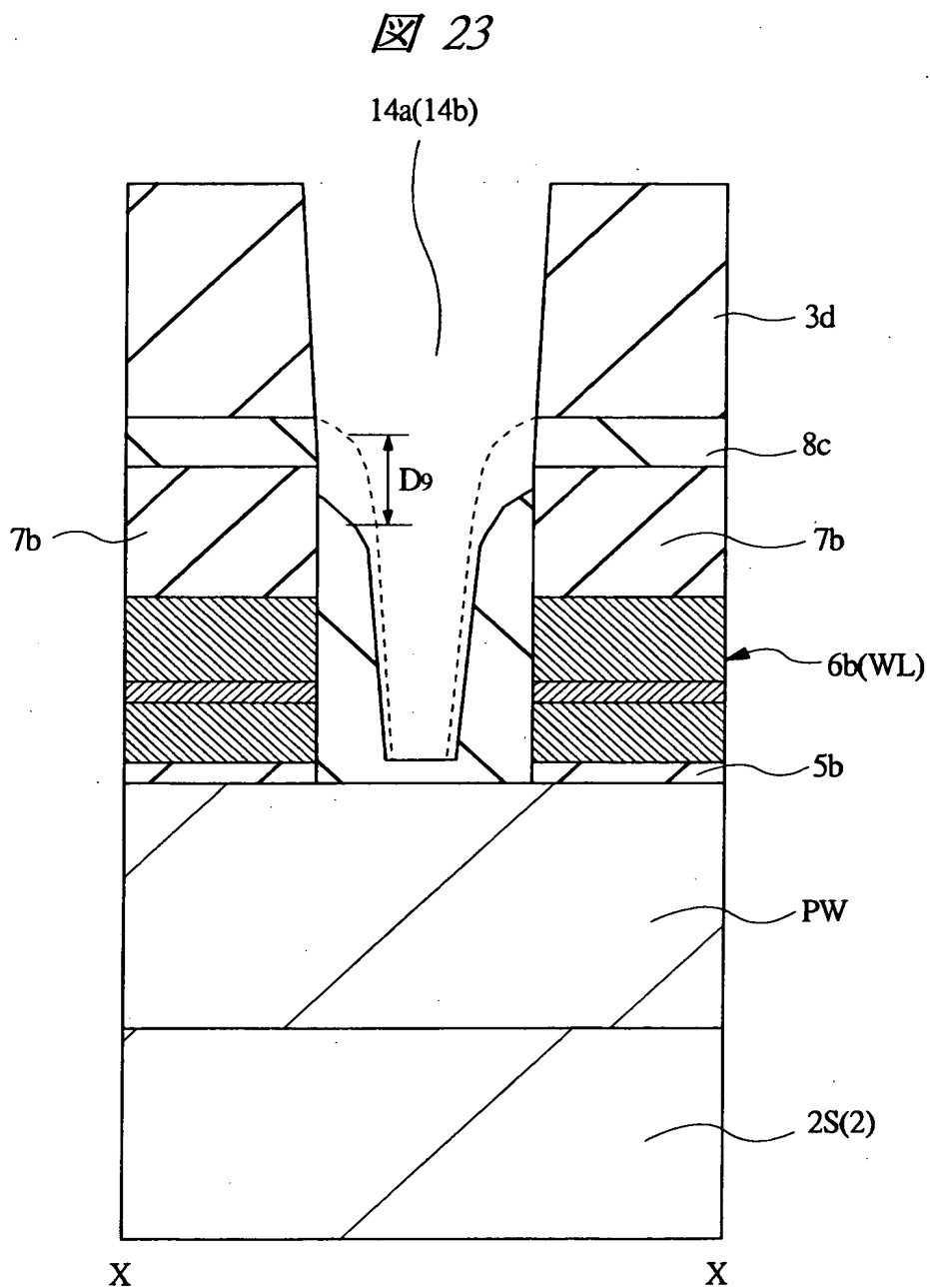
8c: 絶縁膜  
14a, 14b: コンタクトホール(孔)  
WL: ワード線

【図 22】

図 22

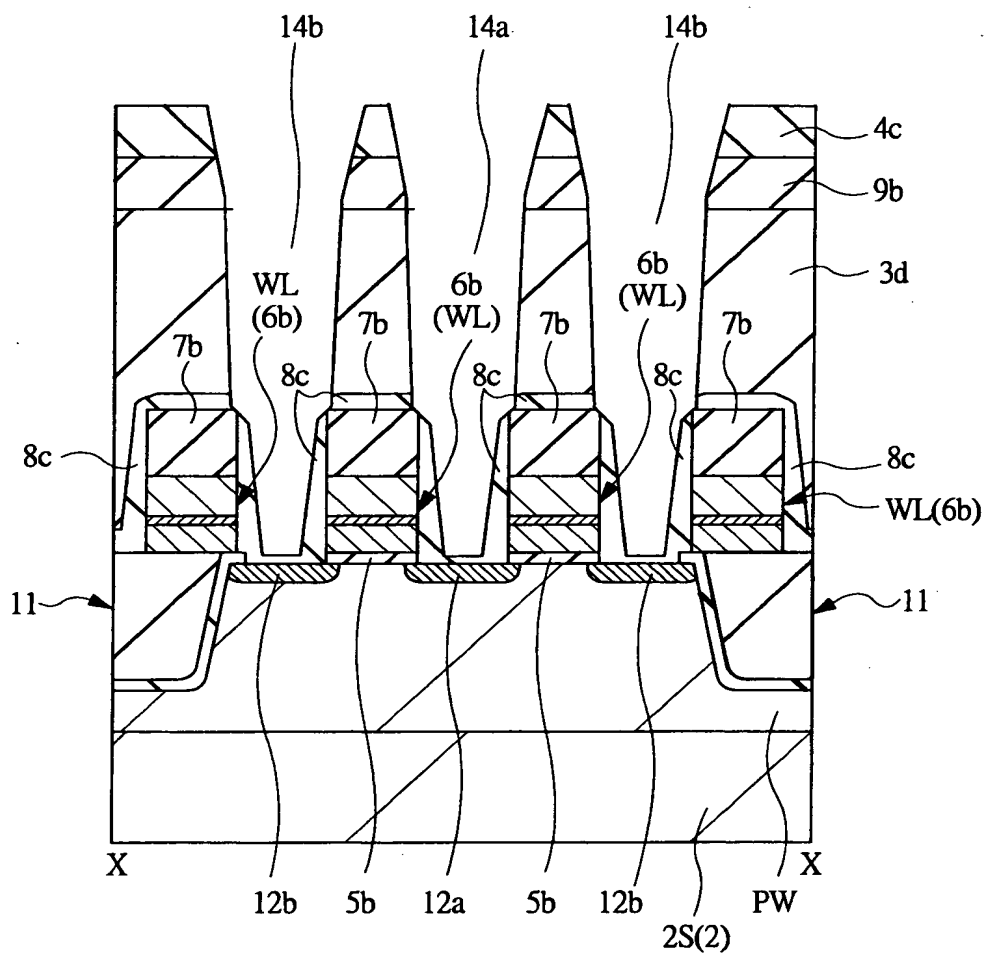


【图 2 3】



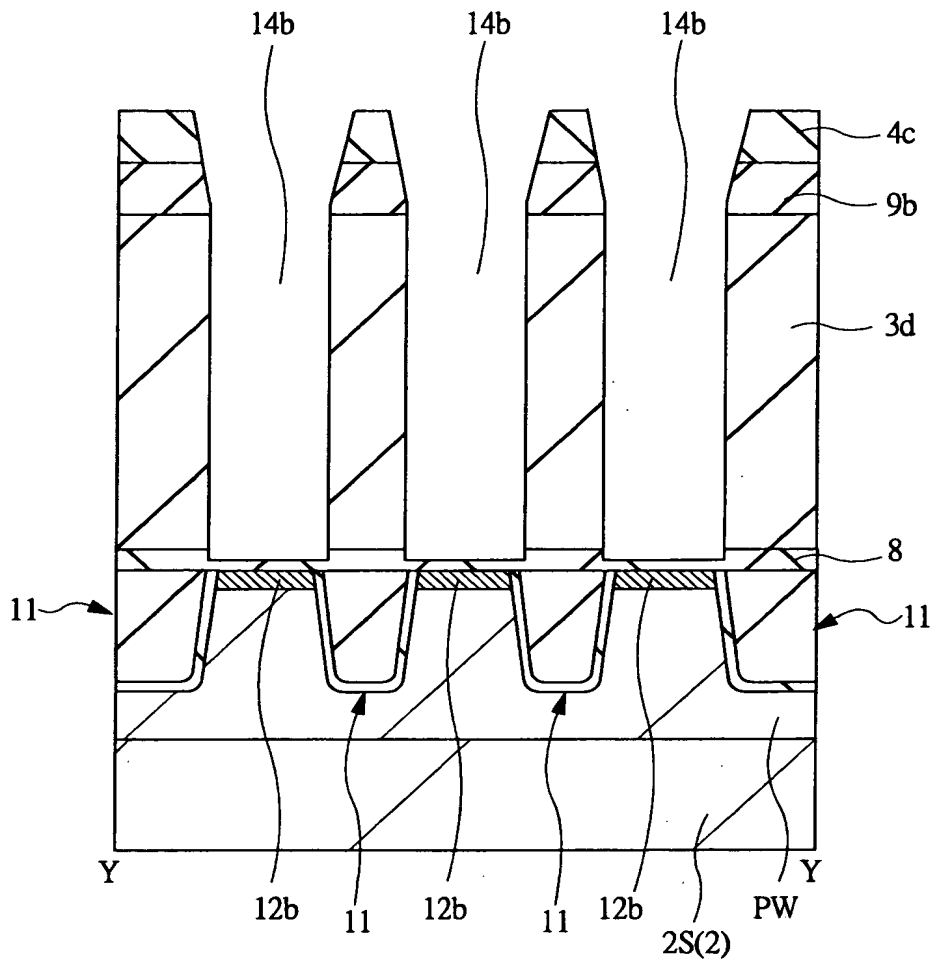
【图 24】

図 24



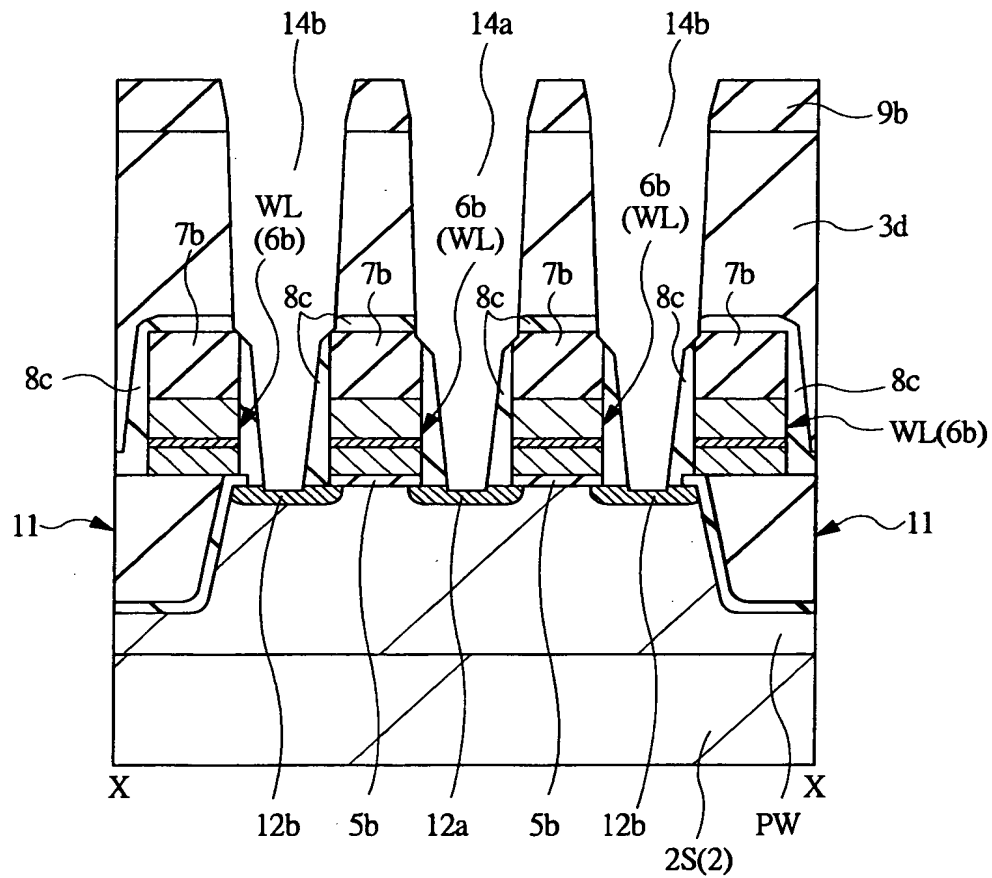
【図 2 5】

図 25



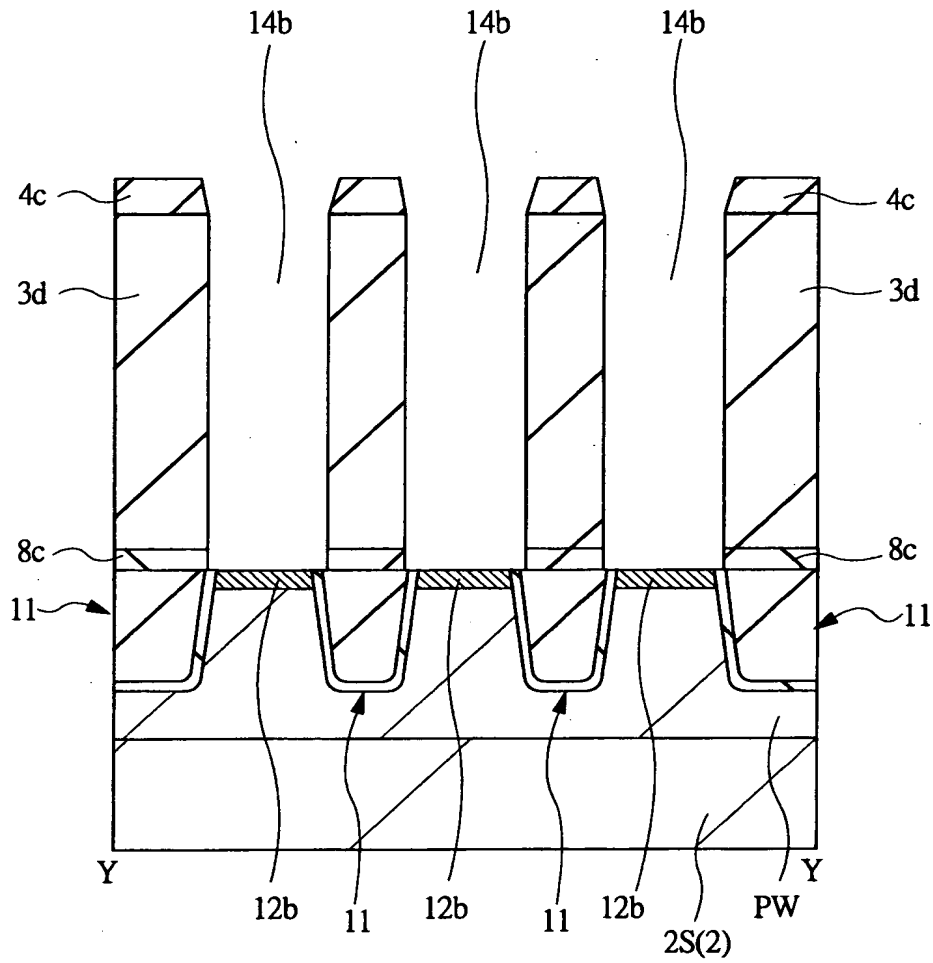
【図 26】

图 26



【図 27】

図 27

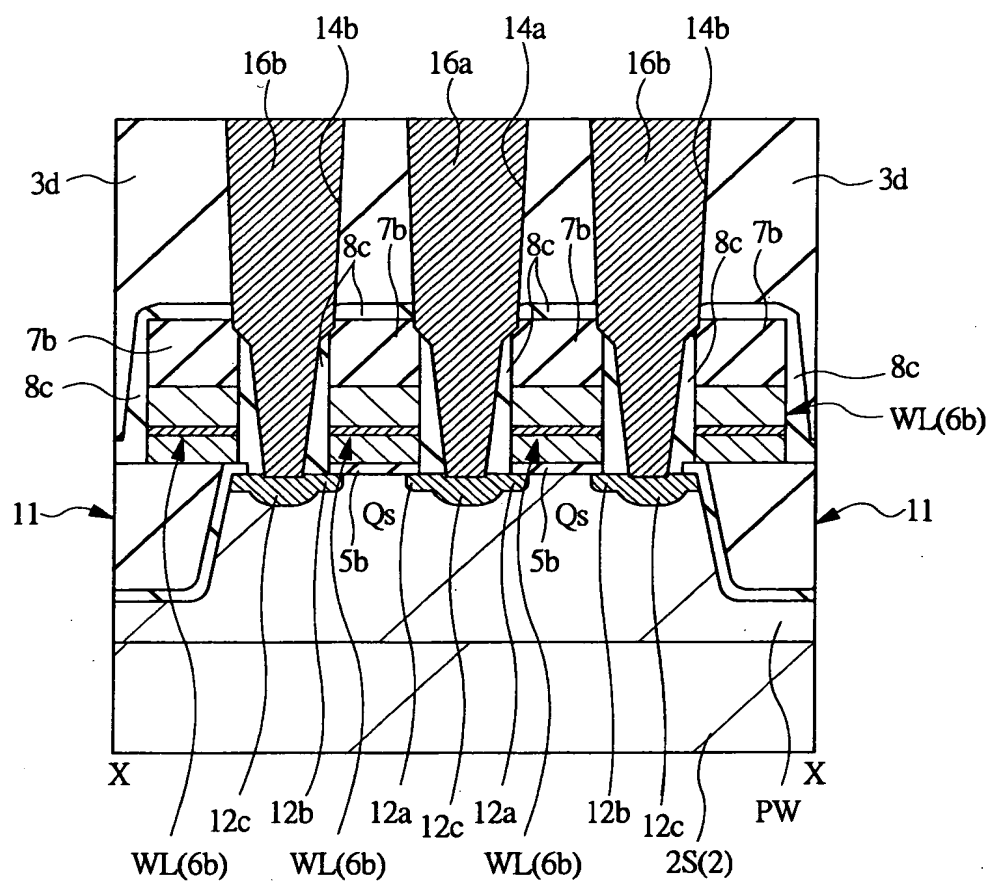






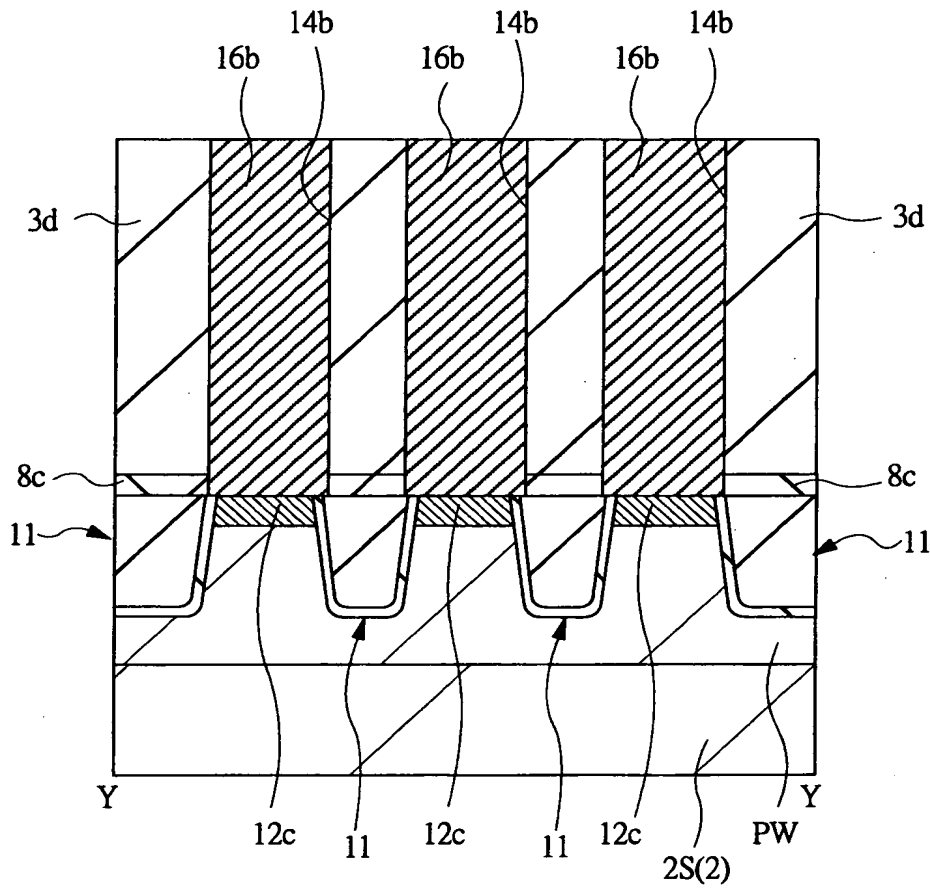
【図 29】

図 29



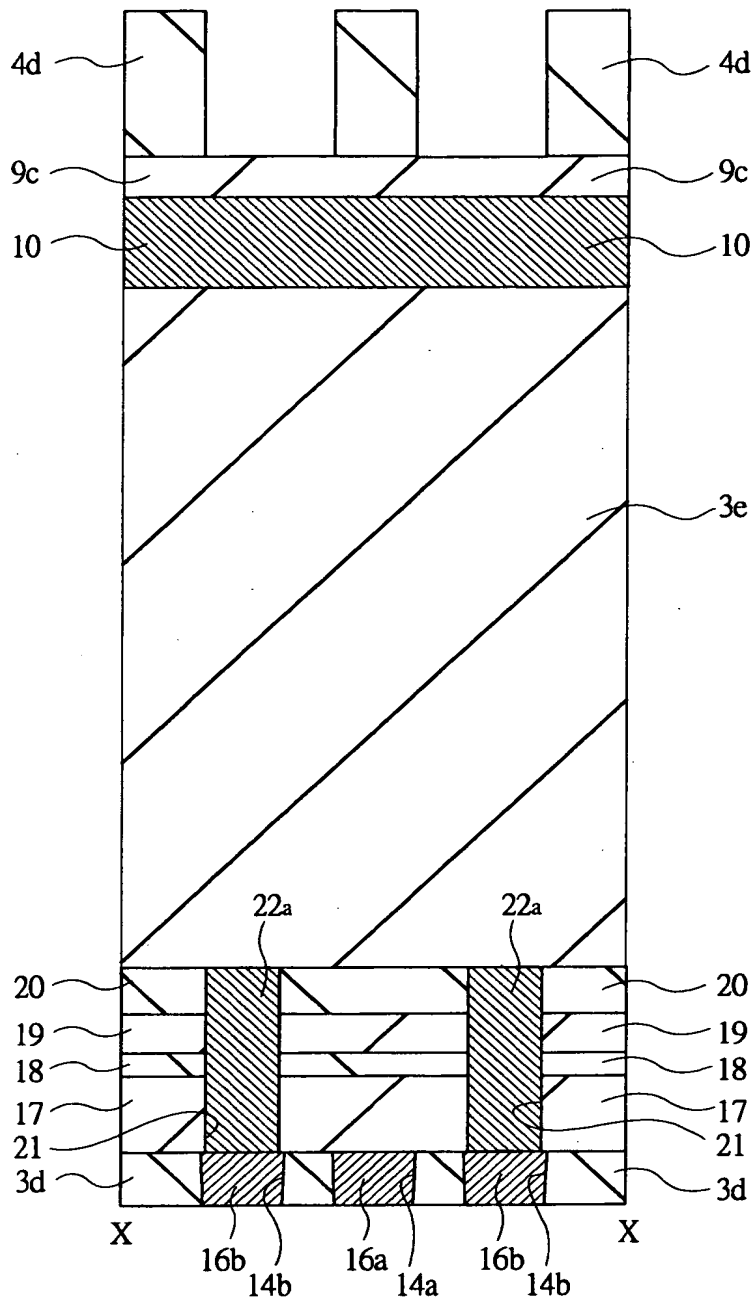
【図 30】

図 30



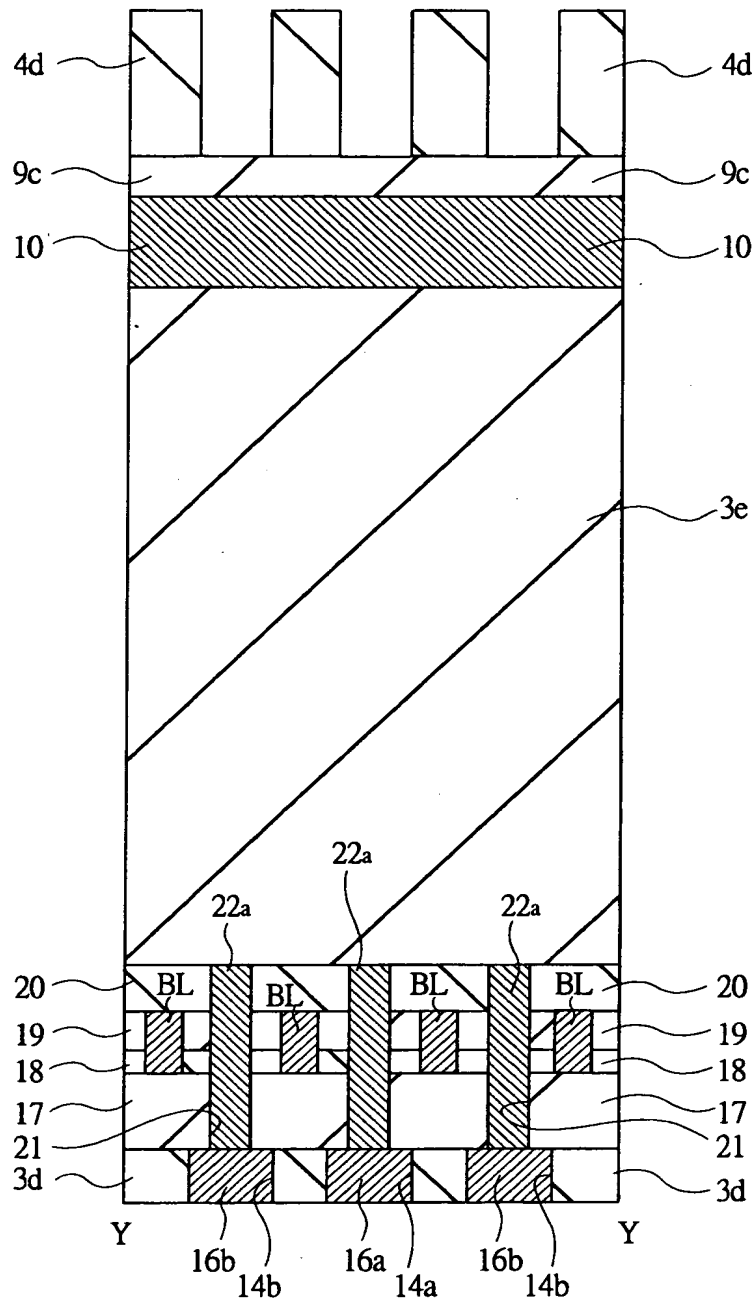
【図 3 1】

図 31



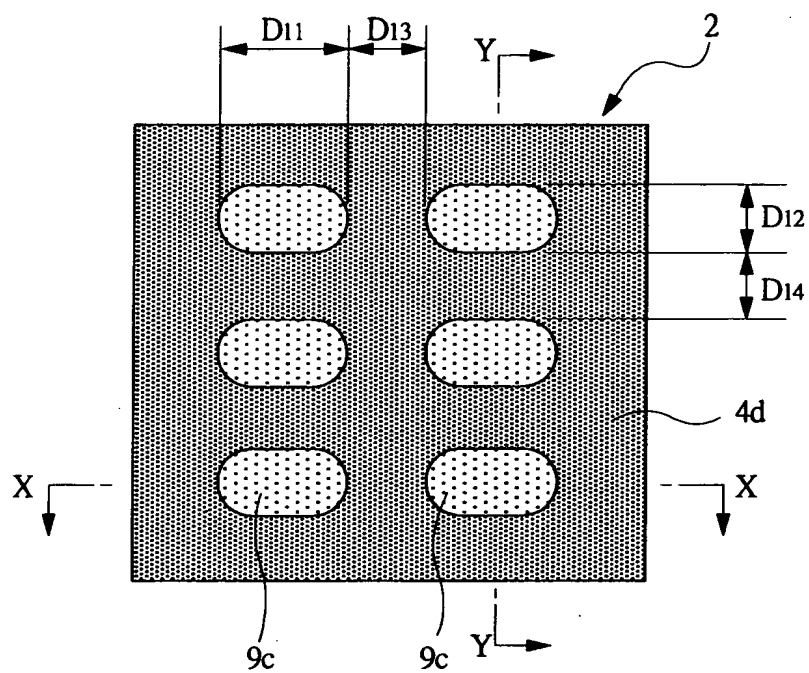
【図 32】

図 32



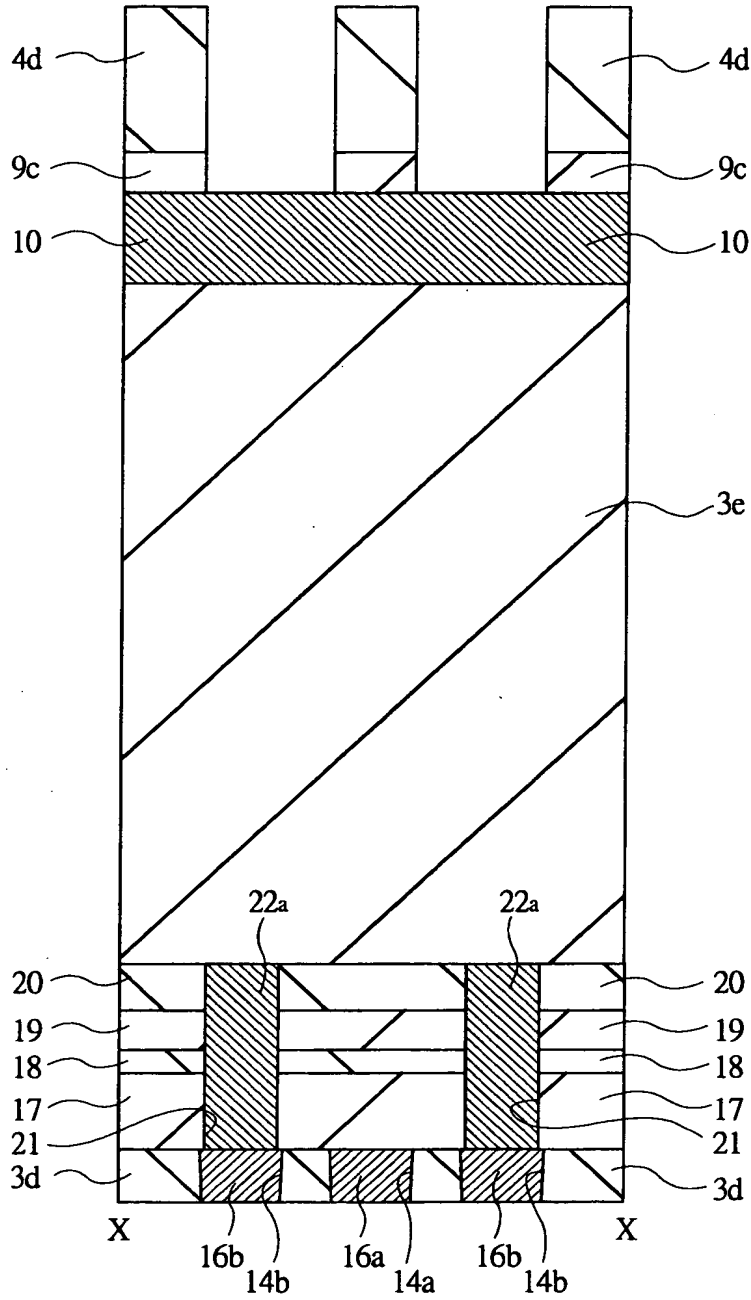
【図 33】

図 33



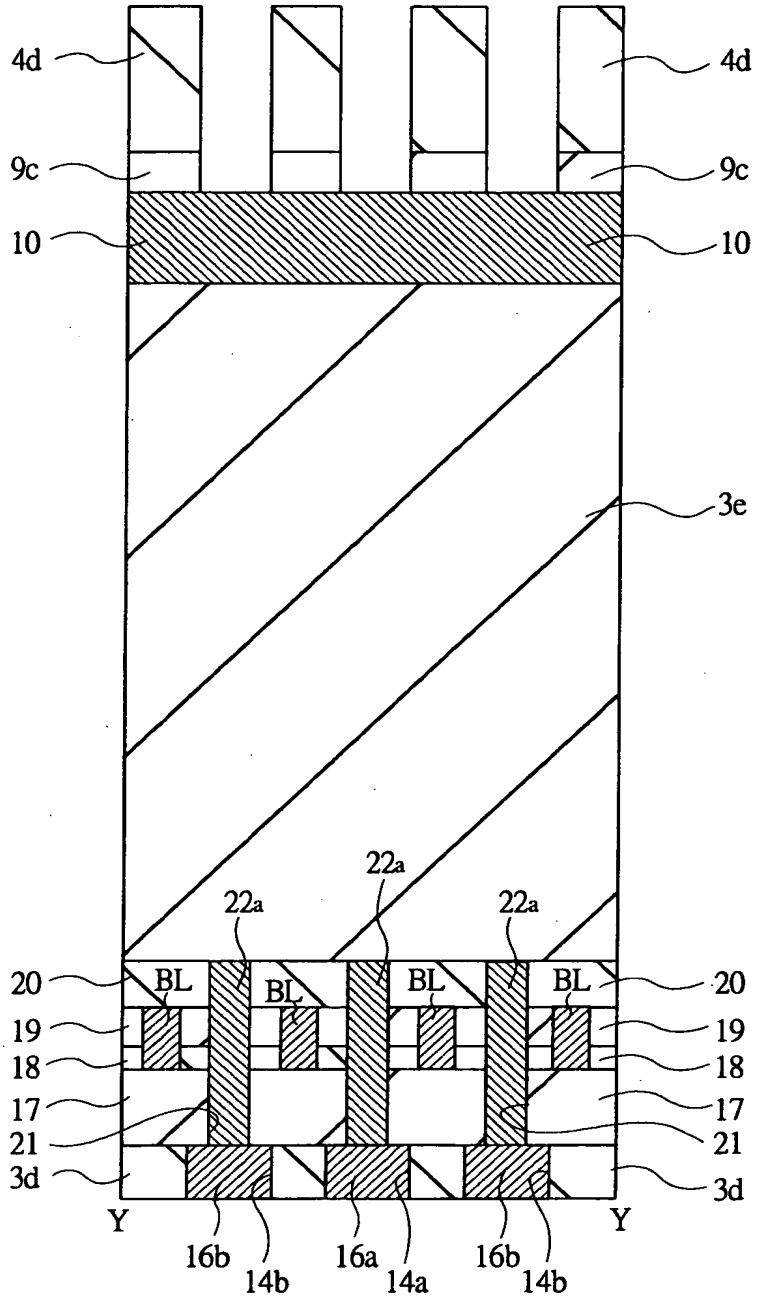
【図 3 4】

図 34



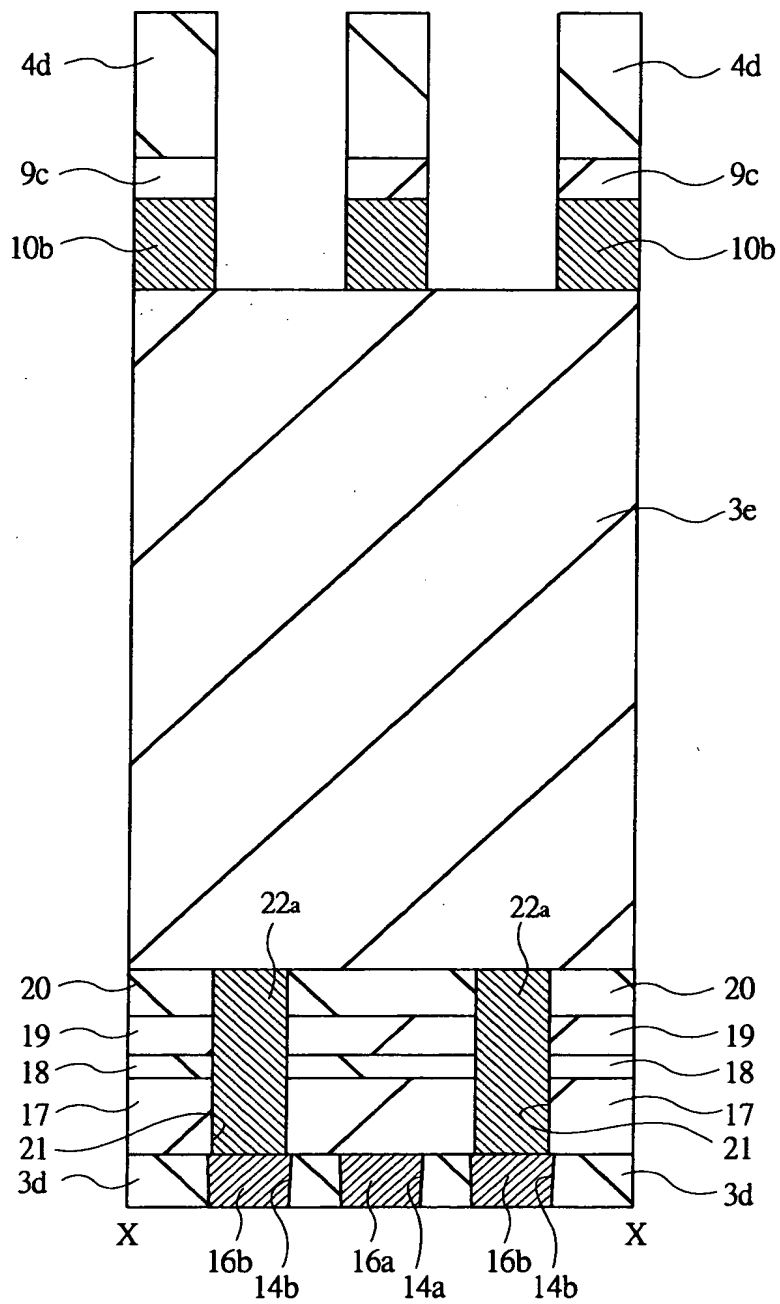
【図 3 5】

図 35



【図 36】

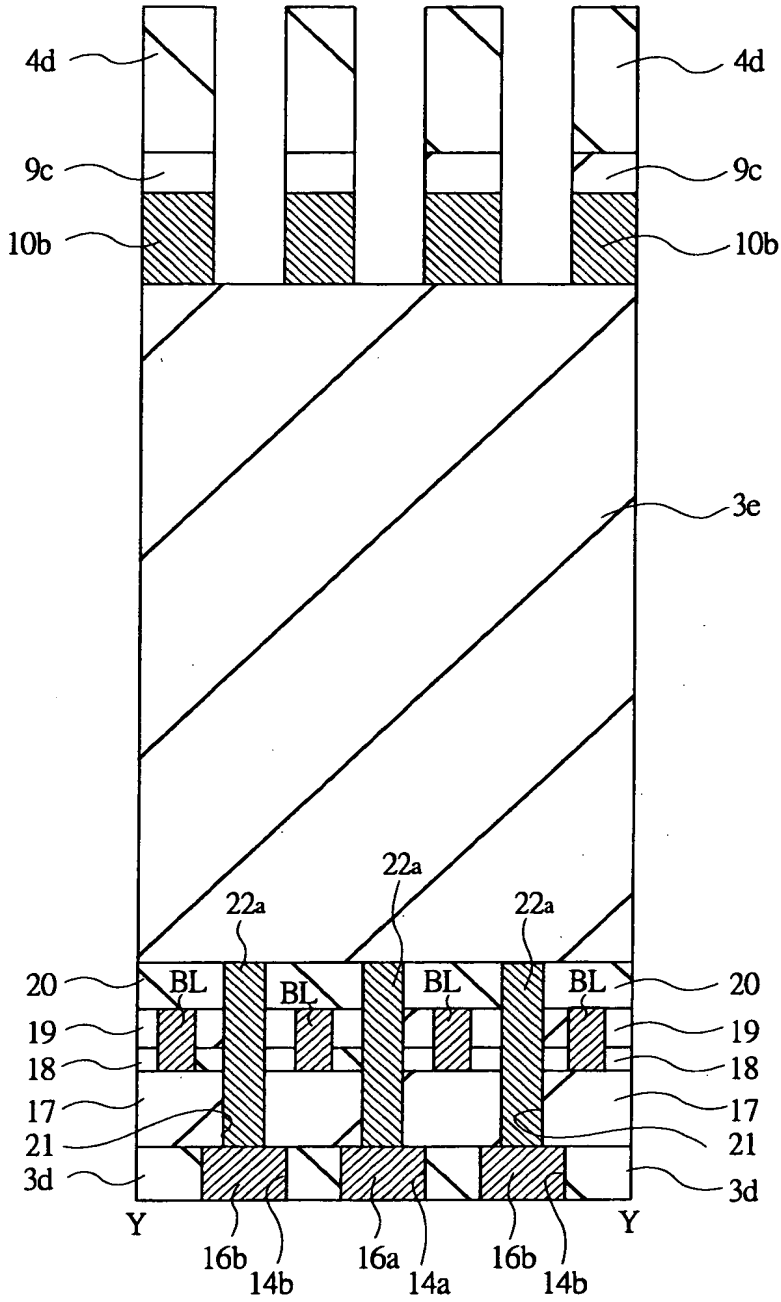
図 36





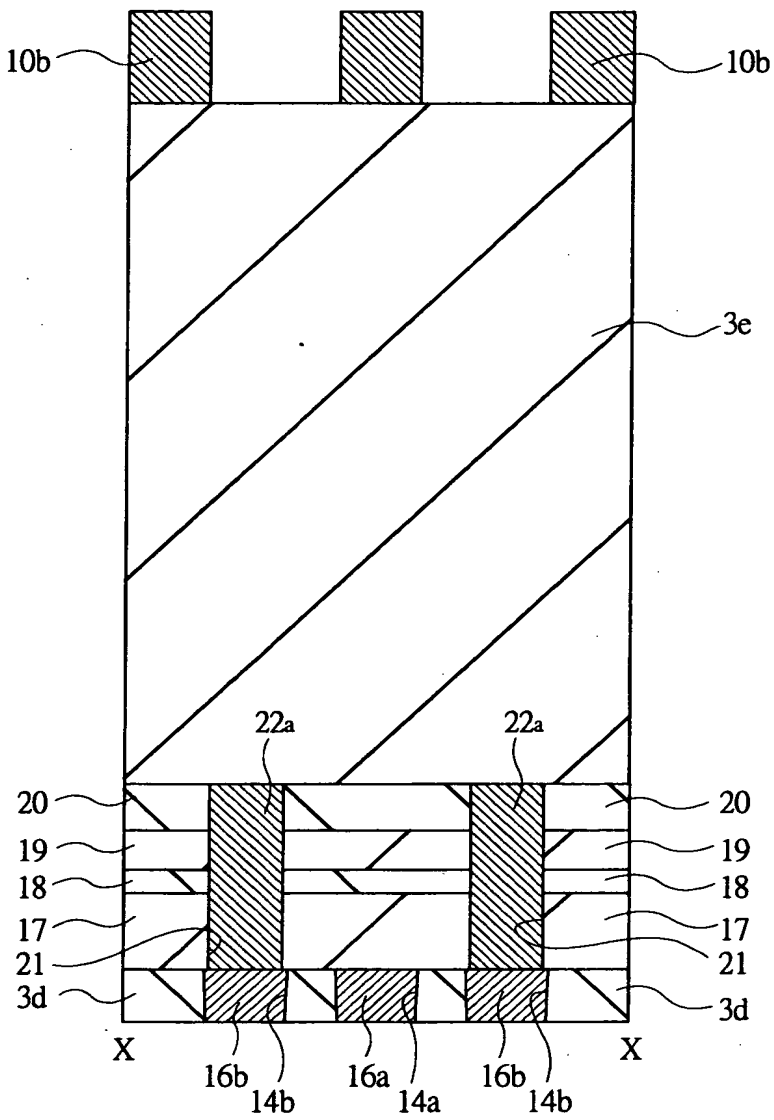
【図 3 7】

図 37



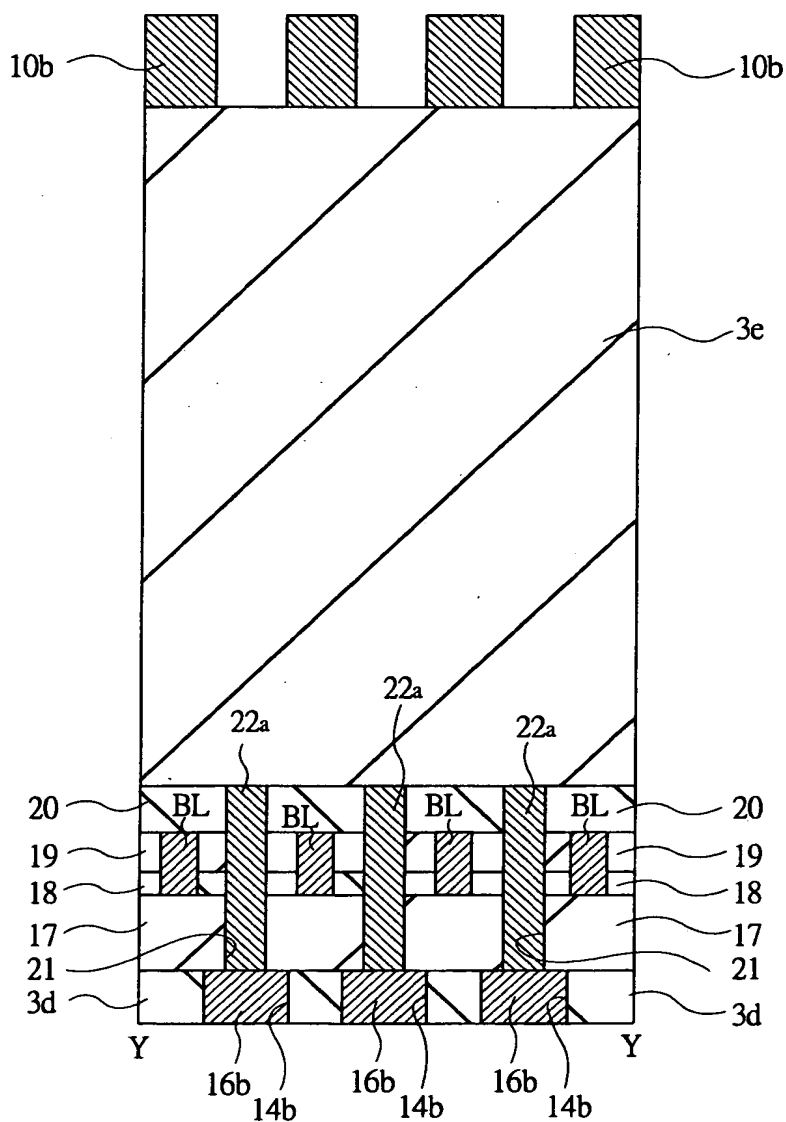
【図 3 8】

図 38



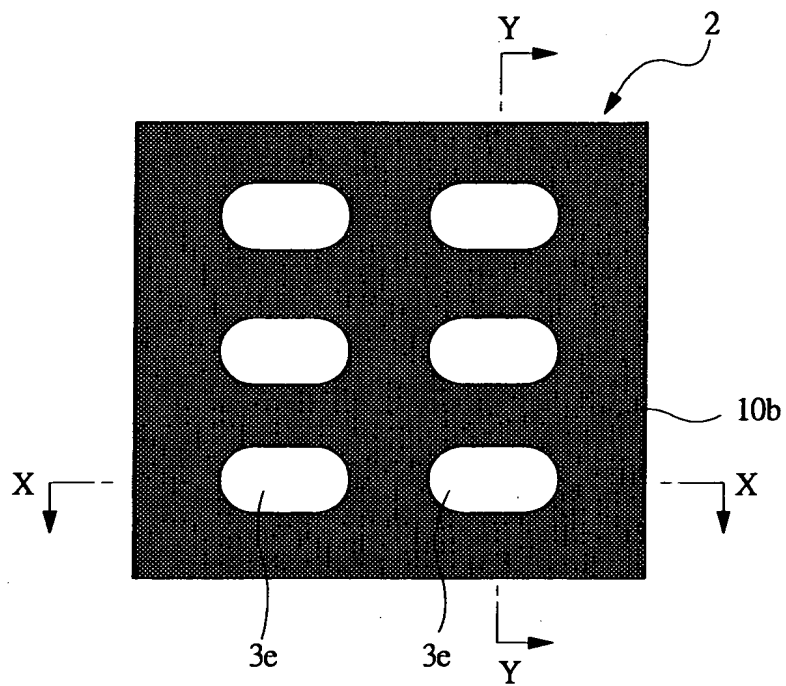
【図 39】

図 39



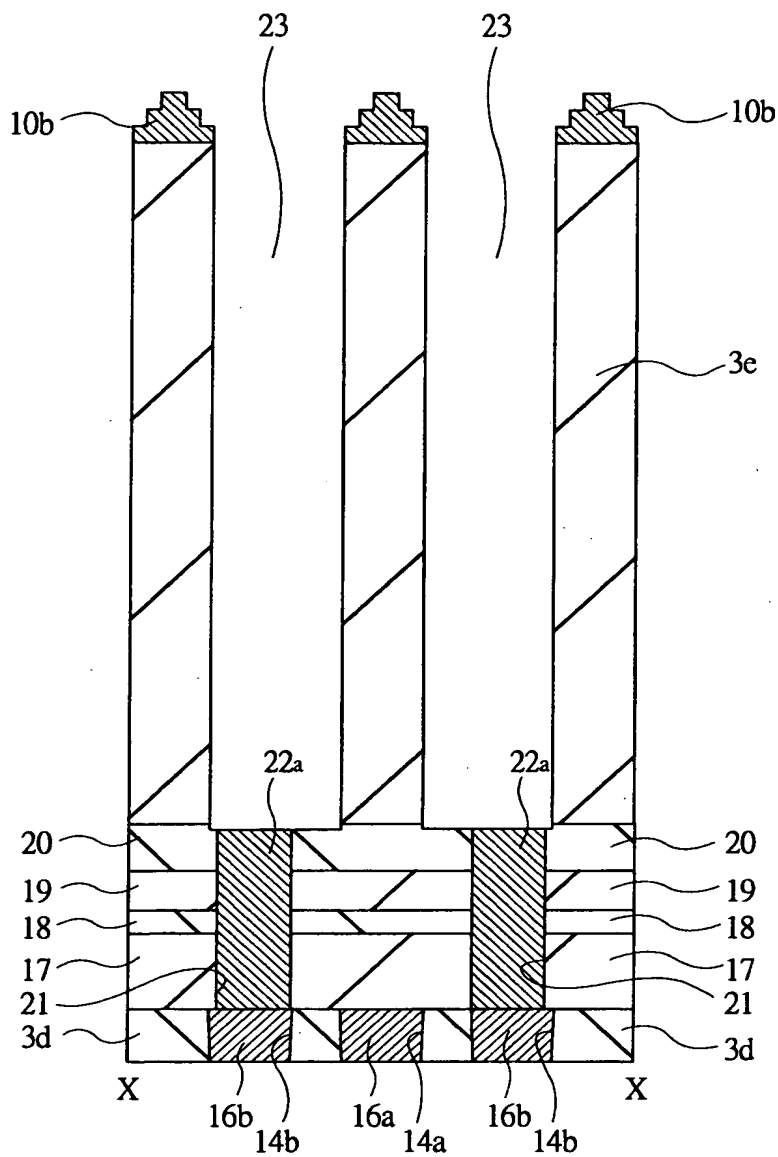
【図 40】

図 40



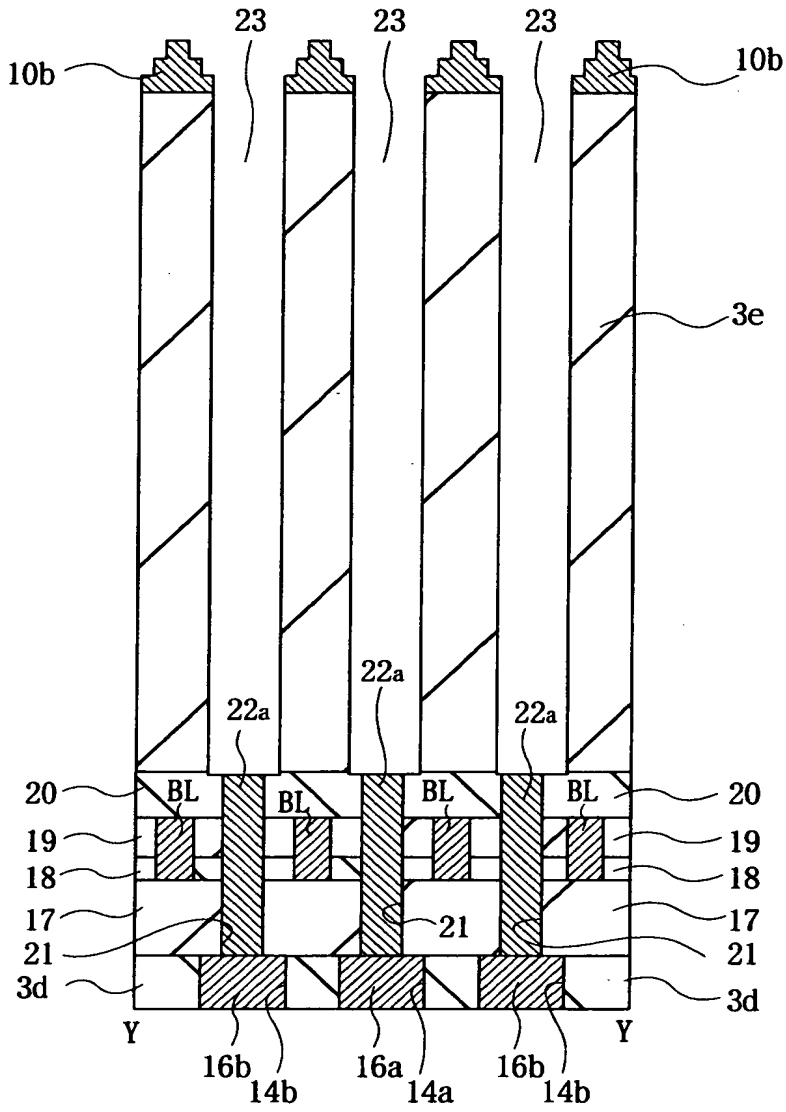
【図 4 1】

図 41



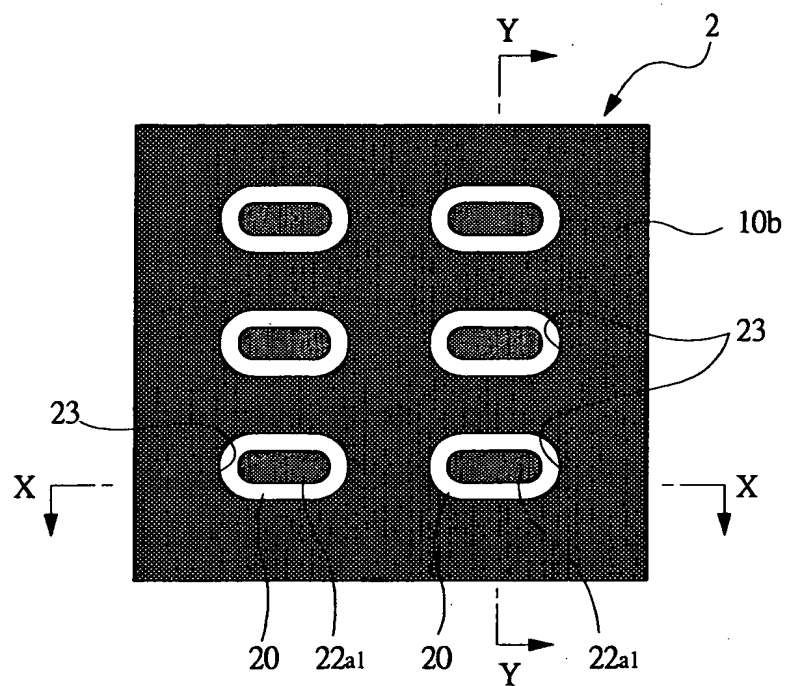
【図 4 2】

図 42



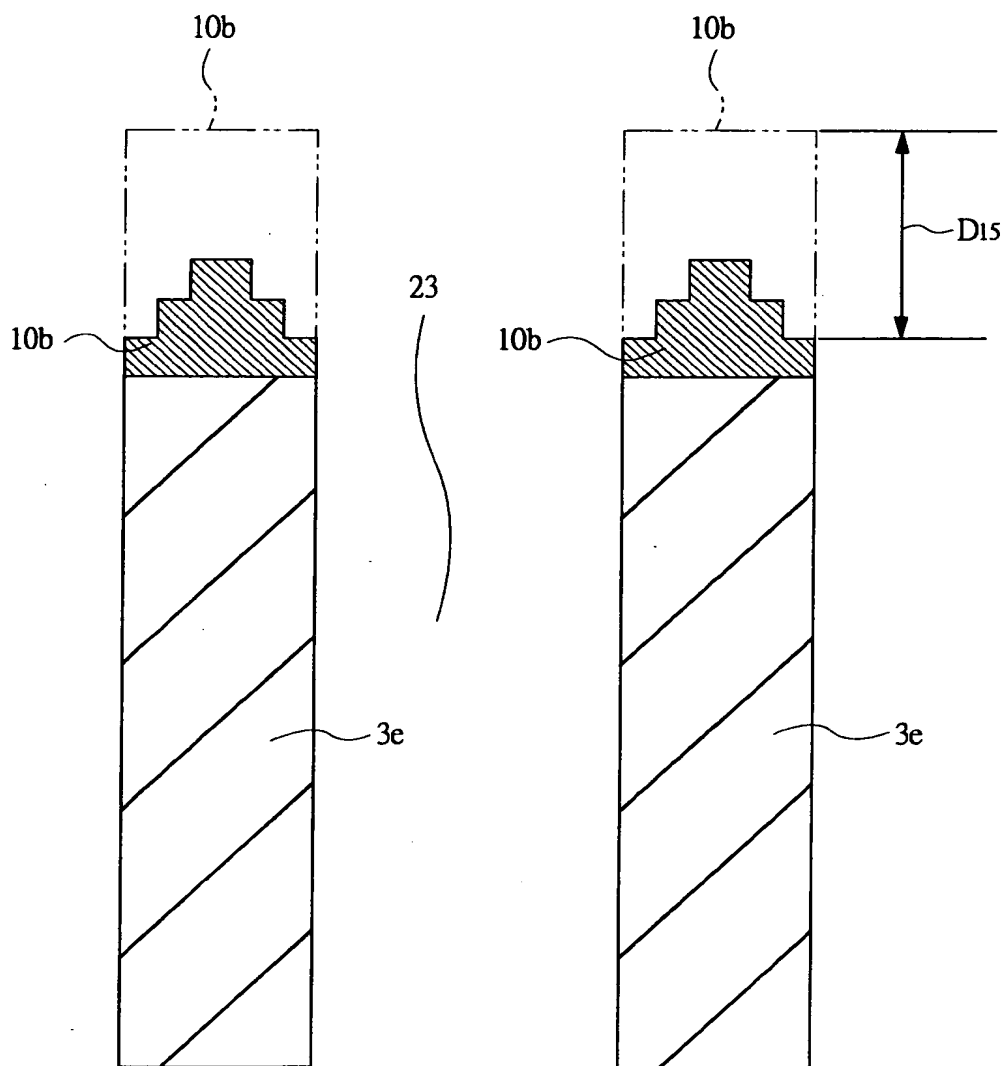
【図 4 3】

図 43



【図 44】

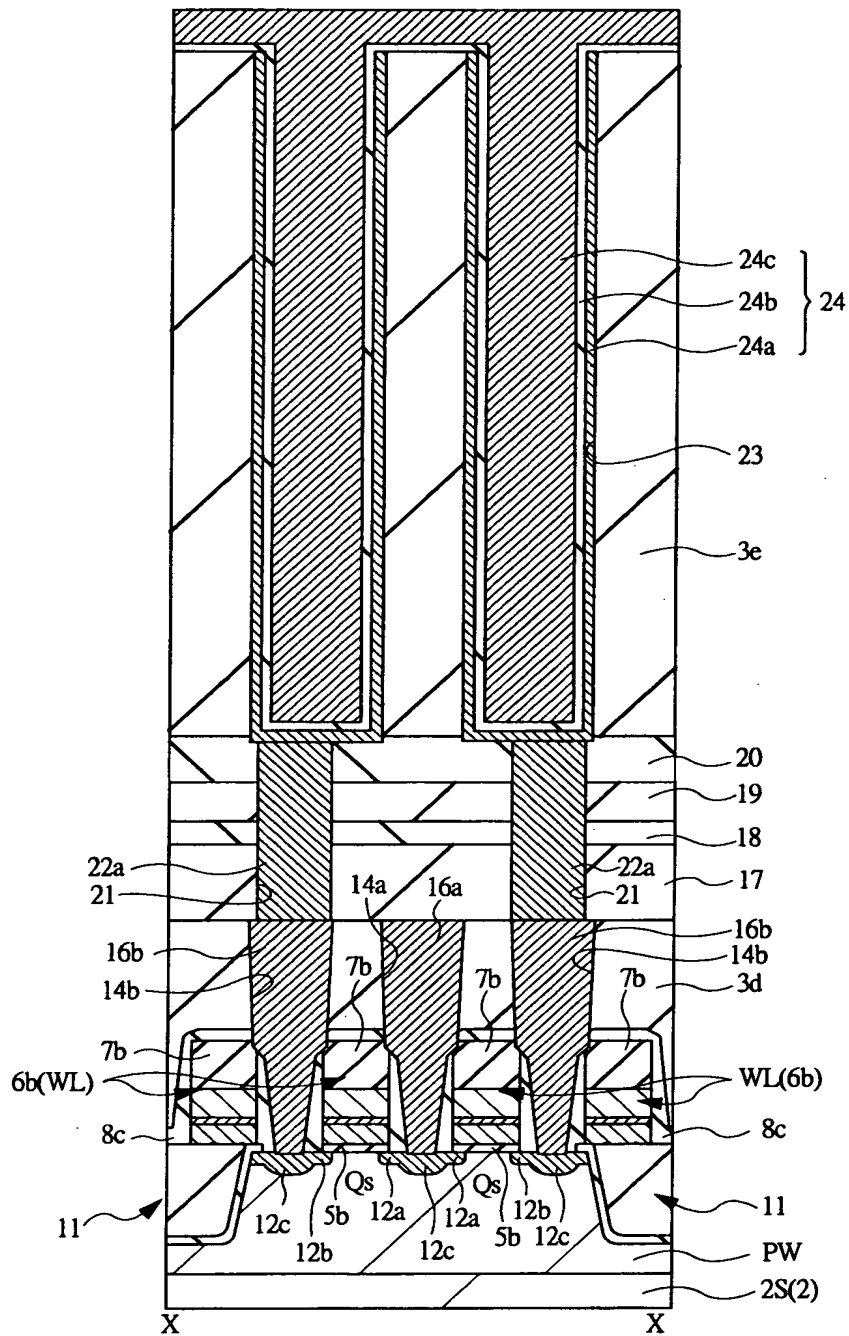
図 44





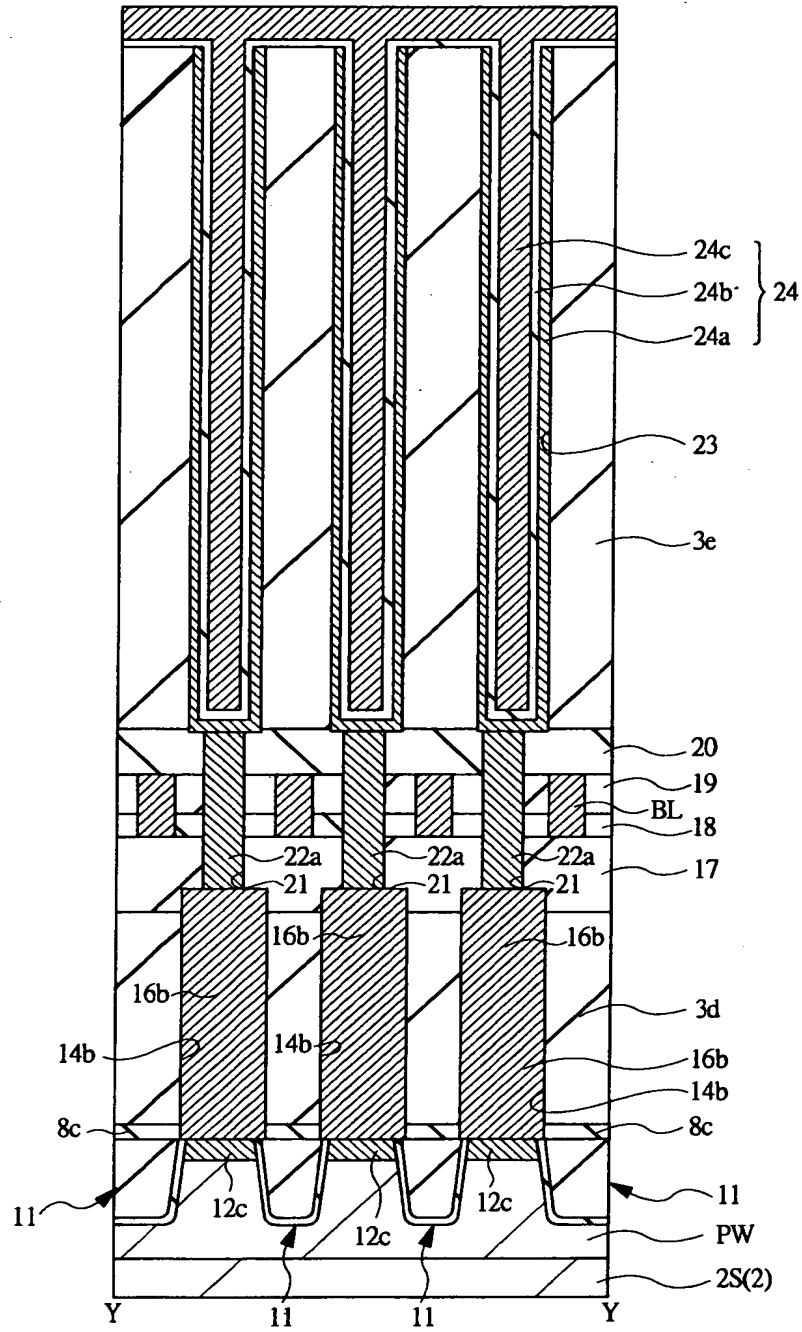
【図 45】

図 45



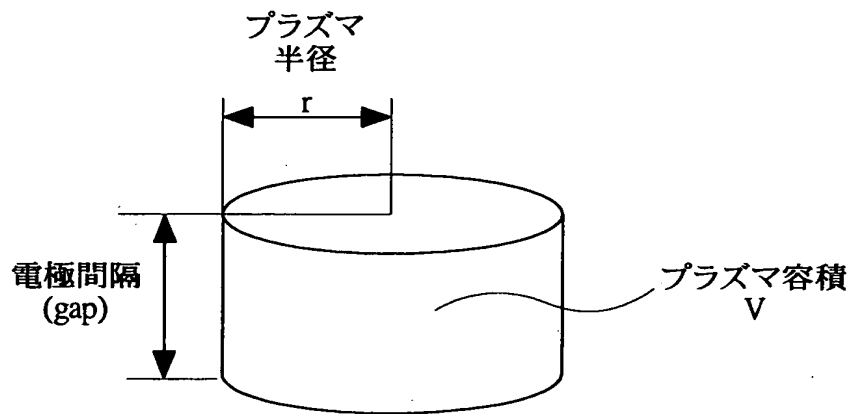
【図 46】

図 46



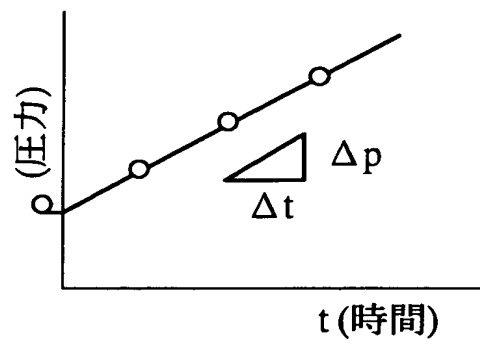
【図 47】

図 47



【図 48】

図 48



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 SACプロセスまたはHARCプロセスにおいて、酸化シリコン膜の開口性および窒化膜に対する選択性を向上させる。

【解決手段】 半導体基板 2 S 上に形成された酸化シリコン膜からなる酸化膜 3 d にコンタクトホール 1 4 a, 1 4 b を開口するためのプラズマエッチング処理に際して、低圧、エッチングガス ( $C_5F_8/O_2/Ar$ ) の大流量化により、エッチングガスのチャンバ内滞在時間を、窒化シリコンからなる絶縁膜 8 c に対する選択性が向上する領域に設定する。

【選択図】 図 2 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地  
氏 名 株式会社日立製作所

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000233169]

1. 変更年月日 1998年 4月 3日

[変更理由] 名称変更

住 所 東京都小平市上水本町5丁目22番1号

氏 名 株式会社日立超エル・エス・アイ・システムズ